

Монография посвящена применению цифровых технологий в дентальной имплантологии. Рассмотрены современные методы диагностики (КЛКТ, внутривидео сканирование), виртуальное планирование и навигационная хирургия. Особое внимание уделено 3D-шаблонам, их роли в повышении точности и снижении травматичности вмешательств.

Приведена классификация ошибок и осложнений на диагностическом, технологическом, хирургическом и ортопедическом этапах, а также меры их профилактики. Показано, что использование цифровых технологий значительно повышает предсказуемость и воспроизводимость результатов при единичных и множественных имплантациях, включая случаи полной адентии.

В заключении обозначены перспективы: внедрение искусственного интеллекта, роботизированных систем, персонализированных имплантатов, биопечати костных графтов и тканей, а также развитие смарт-имплантатов и телемедицины.

Монография предназначена для стоматологов-хирургов, ортопедов, имплантологов, исследователей и преподавателей, а также может быть полезна студентам и ординаторам, интересующимся современными цифровыми технологиями в стоматологии.



Азизбек Гофуров

# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ

НАВИГАЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ И 3D-ШАБЛОНЫ



Гофуров Азизбек Баходиржон угли  
Ассистент кафедры стоматологии и  
оториноларингологии Ферганский  
медицинский институт общественного  
здравоохранения, Республика Узбекистан. Он  
является автором около 10 научных работ,  
включая монографии, научно-методические  
пособия, статьи и тезисы, опубликованные в  
отечественных и зарубежных научных  
изданиях.



Азизбек Гофуров

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

Азизбек Гофуров

# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ

НАВИГАЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ И 3D-ШАБЛОНЫ

**LAP LAMBERT Academic Publishing RU**

## **Imprint**

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Publisher:

LAP LAMBERT Academic Publishing

is a trademark of

Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

120 High Road, East Finchley, London, N2 9ED, United Kingdom

Str. Armeneasca 28/1, office 1, Chisinau MD-2012, Republic of Moldova,  
Europe

Managing Directors: Ieva Konstantinova, Victoria Ursu

[info@omniscryptum.com](mailto:info@omniscryptum.com)

Printed at: see last page

**ISBN: 978-620-9-11554-7**

Copyright © Азизбек Гофуров

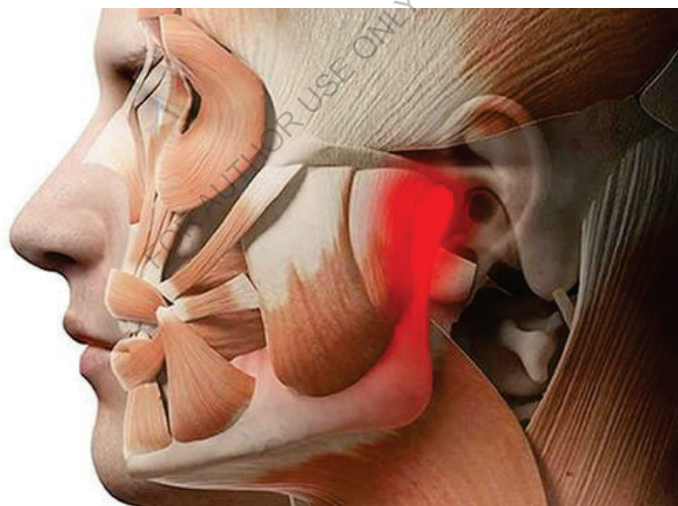
Copyright © 2025 Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L  
publishing group

FOR AUTHOR USE ONLY

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН  
ФЕРГАНСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ ОБЩЕСТВЕННОГО  
ЗДОРОВЬЯ**

Гофуров Азизбек Баходиржон Угли

***ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ:  
НАВИГАЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ И 3D-ШАБЛОНЫ***



*Монография для врачей-стоматологов, челюстно-лицевых  
хирургов, врачей-интернов и ординаторов*

Фергана – 2025

## **Авторы:**

**Гофуров А. Б.** ассистент кафедры стоматологии и оториноларингологии Ферганского медицинского института общественного здоровья

## **Рецензенты:**

**Умаров О. М.** заведующий кафедрой стоматологии и оториноларингологии, доктор философии (PhD), Ферганский медицинский институт общественного здравоохранения

**Исмаилов М.М** главный врач Ферганской областной стоматологической поликлиники.

## **Аннотация**

Монография посвящена применению цифровых технологий в дентальной имплантологии. Рассмотрены современные методы диагностики (КЛКТ, внутриворотное сканирование), виртуальное планирование и навигационная хирургия. Особое внимание уделено 3D-шаблонам, их роли в повышении точности и снижении травматичности вмешательств.

Приведена классификация ошибок и осложнений на диагностическом, технологическом, хирургическом и ортопедическом этапах, а также меры их профилактики. Показано, что использование цифровых технологий значительно повышает предсказуемость и воспроизводимость результатов при единичных и множественных имплантациях, включая случаи полной адентии.

В заключении обозначены перспективы: внедрение искусственного интеллекта, роботизированных систем, персонализированных имплантатов, биопечати костных графтов и тканей, а также развитие смарт-имплантатов и телемедицины.

Монография предназначена для стоматологов-хирургов, ортопедов, имплантологов, исследователей и преподавателей, а также может быть полезна студентам и ординаторам, интересующимся современными цифровыми технологиями в стоматологии.

## **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ: НАВИГАЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ И 3D-ШАБЛОНЫ**

### **Введение**

В последние десятилетия стоматология претерпела стремительное развитие, обусловленное внедрением цифровых технологий, которые радикально изменили как диагностический, так и хирургический этапы лечения пациентов. Если еще недавно дентальная имплантология основывалась преимущественно на традиционных клинических методах планирования и ручных мануальных навыках хирурга, то сегодня цифровая трансформация позволила значительно повысить точность, прогнозируемость и безопасность имплантационных вмешательств. Данная тенденция имеет особую актуальность в связи с увеличением продолжительности жизни, ростом потребности населения в качественном протезировании и повышением требований к функционально-эстетическим результатам лечения.

Актуальность цифровых технологий в дентальной имплантологии определяется рядом ключевых факторов. Прежде всего, это возможность интеграции современных методов визуализации (компьютерная томография, внутриротовое сканирование) с цифровым моделированием, что обеспечивает индивидуализированный подход к каждому пациенту. Современные навигационные системы и 3D-печатные хирургические шаблоны позволяют минимизировать риск врачебной ошибки, сокращают операционное время и повышают уровень комфорта как для пациента, так и для специалиста. Кроме того, цифровые технологии существенно расширяют возможности междисциплинарного взаимодействия, объединяя хирургов-имплантологов, ортопедов, рентгенологов и зубных техников в рамках единого цифрового протокола.

### **Теория цифровизации медицины и стоматологии**

Современные тенденции развития медицины определяются глобальной цифровизацией, охватывающей все этапы диагностики, лечения и мониторинга пациентов. Одним из ключевых понятий в этом контексте

является концепция «цифрового двойника», предполагающая создание виртуальной модели организма или отдельных его систем, отражающей морфологические, функциональные и динамические характеристики пациента. В стоматологии эта концепция получила широкое применение благодаря возможностям высокоточной визуализации и компьютерного моделирования, что особенно актуально в дентальной имплантологии.

Немаловажную роль играет использование технологий анализа больших данных (*big data*), которые позволяют не только аккумулировать результаты многотысячных клинических случаев, но и выявлять закономерности, недоступные при индивидуальном наблюдении. Интеграция диагностических и лечебных протоколов в единую цифровую среду обеспечивает более высокий уровень стандартизации, прогнозируемости и персонализации лечения, что в совокупности формирует основу для цифровой трансформации стоматологии.

Сравнение традиционной и цифровой имплантологии демонстрирует принципиальные различия. В традиционной практике планирование имплантации базировалось на двумерных методах визуализации и субъективной клинической оценке, что нередко приводило к анатомическим осложнениям, неточностям позиционирования и необходимости проведения дополнительных корректирующих процедур. Цифровая имплантология, напротив, строится на объективных данных трёхмерной диагностики, позволяет моделировать конечный результат ещё до вмешательства и использовать виртуальное планирование для создания хирургических шаблонов. Таким образом, переход от традиционных методов к цифровым стал не просто технологическим прогрессом, но и качественным изменением философии оказания стоматологической помощи.

Целью настоящей работы является системное рассмотрение возможностей и перспектив цифровых технологий в дентальной имплантологии, с акцентом на навигационную хирургию и применение 3D-шаблонов. В рамках исследования ставятся следующие задачи:

проанализировать современное состояние цифровых технологий в имплантологической практике; сопоставить традиционные и цифровые подходы с позиции клинической эффективности и безопасности; обосновать преимущества навигационной хирургии как инструмента повышения точности имплантационного лечения; рассмотреть практические аспекты проектирования и использования 3D-шаблонов в клинической стоматологии. Решение данных задач позволит не только очертить текущее положение цифровой имплантологии, но и определить её стратегические направления развития в ближайшей перспективе.

FOR AUTHOR USE ONLY

## **ГЛАВА 1. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И РАЗВИТИЕ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ**

Дентальная имплантология, как самостоятельное направление стоматологии, прошла долгий и сложный путь развития, начиная от примитивных попыток восстановления зубов у древних цивилизаций и заканчивая современными высокотехнологичными цифровыми протоколами. Историческая эволюция этой дисциплины является не только отражением прогресса медицины, но и свидетельством постоянного стремления человека к поиску решений для восстановления утраченных функций организма. Изучение этапов развития имплантологии позволяет более глубоко понять её современные тенденции, а также выявить закономерности, которые определили переход от эмпирических подходов и случайных наблюдений к научно обоснованным, стандартизированным и воспроизводимым клиническим протоколам.

### **1.1. Классические подходы к имплантации**

Первые упоминания о попытках замещения утраченных зубов восходят к глубокой древности. Археологические раскопки свидетельствуют о том, что в культуре майя и в Древнем Египте применялись различные материалы — фрагменты камня, морских раковин, металлов, которые вживлялись в костную ткань челюсти. Эти вмешательства носили скорее символический и экспериментальный характер, однако они отражали интуитивное понимание необходимости восстановления целостности зубочелюстного аппарата для поддержания эстетики и функций организма. Подобные примеры демонстрируют, что идея имплантации зубов имеет тысячелетнюю историю.

Фундаментальные основы современной имплантологии были заложены в XIX–XX вв., когда врачи начали системно изучать вопросы биологической совместимости материалов с костной тканью. В этот период использовались имплантаты из благородных металлов — золота, платины, иридия, а также различных сплавов. Несмотря на относительно низкий риск токсичности, клинические результаты оставались неудовлетворительными: высокая частота

воспалительных осложнений, нестабильность конструкций и их быстрое отторжение ограничивали возможности их применения.

Ключевым переломным моментом в истории имплантологии стало открытие феномена **остеоинтеграции**, впервые описанного Пер-Ингваром Бранемарком в 1952 году. Учёный доказал, что титан способен образовывать прочную биологическую связь с костной тканью без признаков хронического воспаления и отторжения. Это открытие не только стало основой современной имплантологии, но и определило её дальнейший вектор развития. Использование титана позволило значительно повысить процент успешных интеграций и обеспечило долговечность имплантатов. Постепенно были разработаны различные формы и поверхности имплантатов, что позволило достичь оптимального баланса между биологической совместимостью и механической стабильностью.

Таким образом, классический этап развития имплантологии характеризовался поиском идеального материала и формы имплантата, накоплением первых систематизированных клинических наблюдений и формированием концептуальной базы, на которой позднее было построено развитие современных технологий.

## 1.2. Эволюция диагностических и хирургических методик

С середины XX века дентальная имплантология начала стремительно развиваться как самостоятельная клиническая дисциплина, требующая комплексного междисциплинарного подхода. Важнейшей вехой стало внедрение **рентгенологических методов исследования**, позволивших объективно оценивать состояние костной ткани, её высоту, толщину и плотность. Тем не менее, традиционная двумерная рентгенография имела ограниченные возможности, так как не позволяла полноценно визуализировать трёхмерную структуру челюстей и пространственные взаимоотношения между анатомическими образованиями.

Появление **компьютерной томографии (КТ)** и, особенно, **конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ)** стало новым этапом в

диагностике. С их помощью врачи получили возможность с высокой точностью определять объём костной ткани, анализировать топографию анатомически значимых областей, выявлять скрытые риски и осложнения. Эти достижения заложили основу принципа индивидуализированного планирования имплантации, что позволило значительно снизить количество неудач и осложнений.

Параллельно происходила эволюция хирургических методик. Если первые операции по имплантации были весьма травматичными и сопровождались обширным хирургическим доступом, то со временем акцент сместился в сторону **малоинвазивных вмешательств**. Современные протоколы основываются на щадящей остеотомии, атравматичной установке имплантатов и сокращении сроков реабилитации. В практику вошли протоколы **одномоментной** и **ранней нагрузки**, которые позволили расширить показания к имплантации и повысить удовлетворённость пациентов. Постепенно сложился комплексный подход к лечению, включающий оценку анатомических, функциональных и эстетических факторов, что сделало имплантологию одной из самых наукоёмких областей стоматологии.

### **1.3. Появление CAD/CAM-технологий и их роль в стоматологии**

Конец XX — начало XXI века стали временем настоящего технологического прорыва. На смену традиционным методам пришли **CAD/CAM-технологии (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing)**, которые позволили автоматизировать процесс проектирования и изготовления стоматологических конструкций. Первоначально они нашли применение в ортопедической стоматологии, где использовались для создания коронок и мостовидных протезов с высокой точностью и эстетичностью. Однако очень скоро CAD/CAM-системы были внедрены и в имплантологическую практику.

Применение CAD/CAM обеспечило возможность интеграции данных КЛКТ и внутривидеосканирования, создание точных виртуальных

моделей челюстей и протезов, а также проектирование хирургических шаблонов. Именно это стало основой для развития **навигационной имплантологии**, где хирургический этап полностью подчиняется заранее сформированному цифровому плану. Такой подход позволил минимизировать человеческий фактор, повысить точность позиционирования имплантатов и снизить риск интраоперационных осложнений.

Сегодня CAD/CAM-технологии рассматриваются не только как вспомогательный инструмент, но и как стратегическое направление развития всей стоматологии. Их внедрение позволяет объединить диагностику, хирургический этап и протезирование в единую цифровую цепочку, создавая условия для полностью цифровых протоколов лечения. Это отвечает современным мировым тенденциям — переходу медицины на персонализированные, предсказуемые и высокотехнологичные формы оказания помощи.

Таким образом, историческое развитие дентальной имплантологии демонстрирует закономерный переход от эмпирических и экспериментальных методов к научно обоснованным цифровым технологиям. Классические подходы, открытие остеointegrации, совершенствование диагностических и хирургических методик, а также внедрение CAD/CAM-систем сформировали прочную основу для современного этапа — навигационной хирургии и применения 3D-шаблонов, которые стали символом цифровой революции в стоматологии.

Следует подчеркнуть, что развитие цифровой имплантологии органично вписывается в парадигму доказательной медицины. В отличие от ранних этапов становления имплантологии, когда многие решения основывались преимущественно на клиническом опыте хирурга, современные цифровые технологии сопровождаются масштабными исследованиями, подтверждающими их эффективность.

Многочисленные рандомизированные клинические исследования и систематические обзоры демонстрируют преимущества применения конусно-

лучевой компьютерной томографии, навигационных хирургических систем и 3D-шаблонов по сравнению с традиционными методами. В частности, показано снижение частоты хирургических осложнений, уменьшение угловых и линейных отклонений имплантатов от запланированной позиции, а также повышение удовлетворённости пациентов. Подобные результаты свидетельствуют о том, что цифровая имплантология постепенно формирует новый стандарт доказательной стоматологии, основанный на воспроизводимости, объективности и предсказуемости.

FOR AUTHOR USE ONLY

## **ГЛАВА 2. ЦИФРОВАЯ ДИАГНОСТИКА В ИМПЛАНТОЛОГИИ**

Современная дентальная имплантология немислима без применения высокоточных цифровых методов диагностики, обеспечивающих возможность комплексной оценки состояния зубочелюстной системы и планирования хирургического вмешательства с высокой степенью прогнозируемости. Именно цифровая диагностика создаёт условия для формирования новой философии лечения, в которой решающее значение имеет не только профессиональный опыт хирурга, но и объективные данные трёхмерной визуализации. Благодаря этому удаётся минимизировать риск врачебных ошибок, повысить предсказуемость результата и интегрировать обследование в единый протокол цифрового планирования. Это, в свою очередь, формирует основу для последующего изготовления навигационных шаблонов и успешного протезирования, что отражает глобальную тенденцию перехода к персонализированной медицине.

### **2.1. Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ)**

Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) за последние два десятилетия заняла центральное место в лучевой диагностике стоматологических заболеваний и по праву считается «золотым стандартом» для имплантологии. В отличие от традиционной ортопантомографии или прицельной рентгенографии, КЛКТ позволяет получить трёхмерное изображение исследуемой области с высокой пространственной и контрастной разрешающей способностью. При этом лучевая нагрузка на пациента остаётся относительно низкой, что делает методику безопасной даже при повторных обследованиях.



*Рисунок 2.1. Аппарат для конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) в стоматологии*

Значимость КЛКТ в имплантологии трудно переоценить. С её помощью врач может детально оценить морфологию альвеолярного отростка, определить объём, плотность и качество костной ткани, выявить локализацию анатомически значимых структур — таких как нижнечелюстной канал, носовая полость и дно гайморовых пазух. Это особенно важно при планировании имплантации в зонах ограниченного костного объёма или при проведении костнопластических операций. Кроме того, КЛКТ открывает возможность выявления скрытых патологических процессов: хронических очагов воспаления, кист, резорбции костной ткани, а также изменений, не видимых при двухмерной рентгенографии.

Необходимо отметить, что современные КЛКТ-аппараты позволяют проводить визуализацию в различных режимах, включая высокоточные протоколы для оценки плотности костной ткани в условных единицах Хаунсфилда. Эти данные важны для прогноза остеоинтеграции имплантата и выбора оптимального хирургического протокола. Дополнительным преимуществом является возможность экспорта данных в формате DICOM, что обеспечивает совместимость с большинством специализированных программ цифрового планирования. Таким образом, КЛКТ выполняет не

только диагностическую, но и интегративную функцию, служа фундаментом для последующих этапов моделирования и навигационной хирургии.

## 2.2. Цифровое планирование: специализированные программы

Следующим этапом цифровой диагностики является использование специализированных программ для виртуального планирования имплантации. Они позволяют объединить результаты КЛКТ и внутривисочного сканирования, что в конечном счёте приводит к формированию полноценной трёхмерной модели челюстно-лицевой области пациента. На этой основе врач получает возможность проводить виртуальную имплантацию — моделировать оптимальное положение имплантатов, прогнозировать распределение жевательной нагрузки и оценивать будущий эстетический результат.

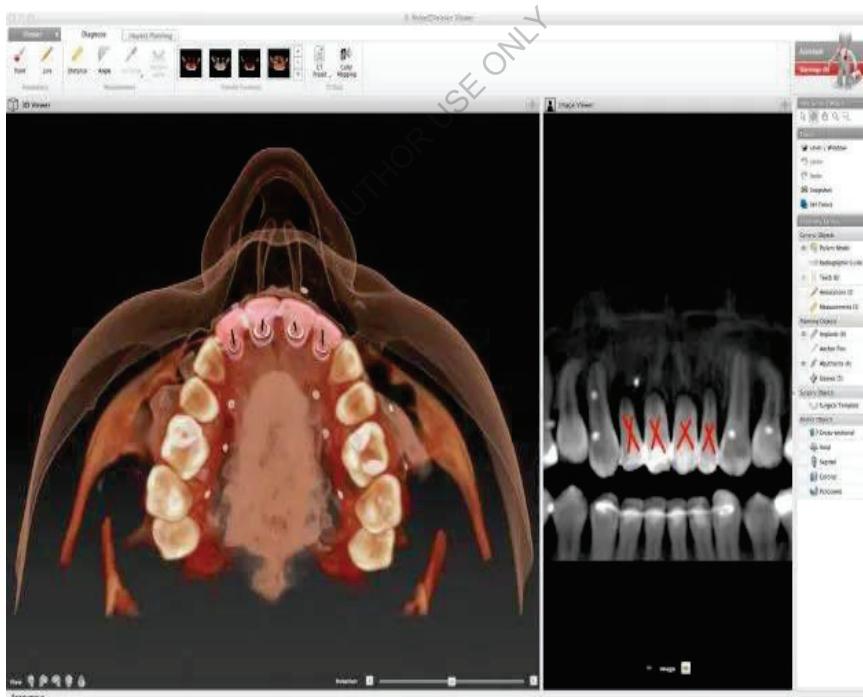
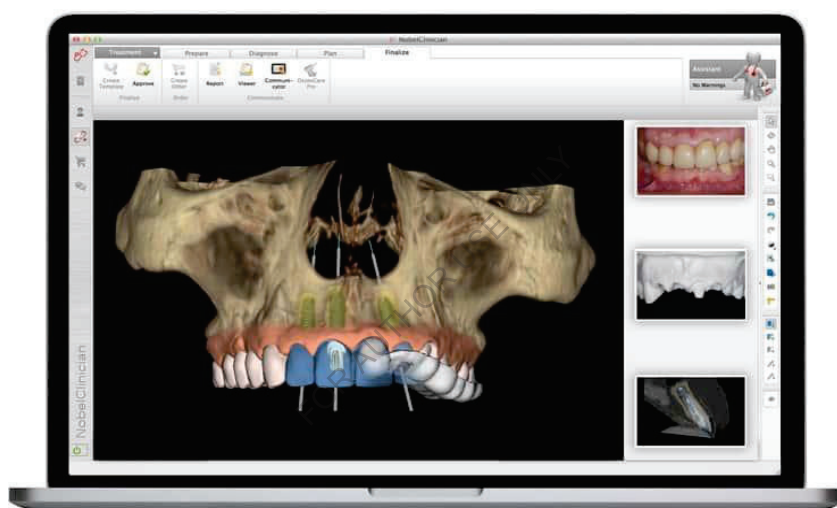


Рисунок 2.2. Виртуальная реконструкция челюсти и моделирование имплантатов по данным КЛКТ

Среди наиболее распространённых в клинической практике программ можно выделить **NobelClinician**, **coDiagnostiX**, **Blue Sky Plan**, а также ряд универсальных CAD/CAM-платформ.

- **NobelClinician** считается одной из первых систем, которая внедрила концепцию комплексного цифрового планирования с возможностью изготовления хирургических шаблонов. Она особенно эффективна при интеграции с имплантационными системами Nobel Biocare, обеспечивая высокий уровень предсказуемости.



*Рисунок 2.3. Цифровое планирование имплантации в программе NobelClinician*

- **coDiagnostiX** выделяется своей универсальностью: она совместима с различными имплантационными системами и поддерживает экспорт STL-файлов для 3D-печати. Программа предоставляет широкий спектр инструментов для сложных клинических случаев, включая возможность моделирования костнопластических операций.

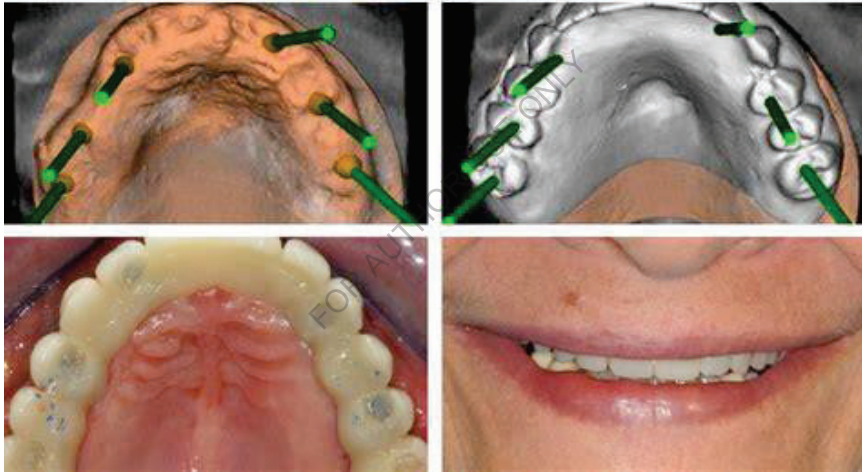
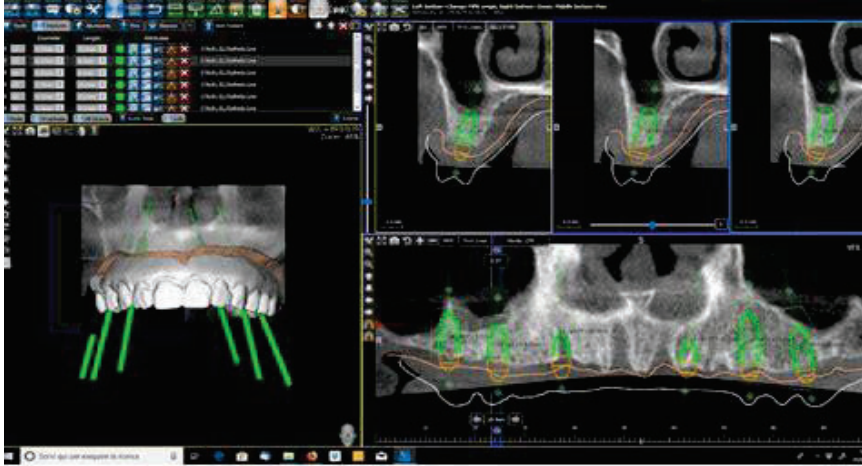
- **Blue Sky Plan** отличается открытой архитектурой и доступностью. Она позволяет стоматологам самостоятельно проектировать хирургические шаблоны, существенно снижая затраты. Это особенно важно для образовательных учреждений и клиник с ограниченными ресурсами.

Виртуальное планирование даёт возможность врачу заранее просчитывать различные сценарии лечения, сравнивать их и выбирать наиболее безопасный и функционально оправданный вариант. Это снижает зависимость от субъективного опыта хирурга и значительно увеличивает воспроизводимость результата. Кроме того, такие программы способствуют развитию междисциплинарного взаимодействия, объединяя хирургов, ортопедов и зубных техников в рамках единого цифрового процесса.

### **2.3. Виртуальная реконструкция челюстей и моделирование имплантатов**

Финальным и, по сути, самым важным результатом цифровой диагностики становится создание **виртуального двойника челюстей пациента**. На основе данных КЛКТ и внутриворотных сканов формируется трёхмерная реконструкция зубочелюстной системы, отражающая не только костные структуры, но и положение мягких тканей, а также окклюзионные взаимоотношения.

Такая реконструкция открывает принципиально новые возможности. Во-первых, она позволяет проводить **виртуальную хирургию**: моделировать различные сценарии установки имплантатов, изменять их количество, длину, угол наклона и оценивать биомеханические последствия каждого варианта. Во-вторых, на основе реконструкции возможно предварительное моделирование протетических конструкций, что обеспечивает так называемую протетически-ориентированную имплантологию. Это означает, что хирургическое вмешательство планируется не само по себе, а в тесной связи с будущей ортопедической реабилитацией.



*Рисунок 2.4 Клинический случай: виртуальная реконструкция и распределение виртуальных имплантатов*

Особую роль играет моделирование имплантатов с учётом биомеханических характеристик костной ткани. Программное обеспечение позволяет оценивать распределение нагрузок при жевании, прогнозировать зоны возможной перегрузки и выбирать наиболее рациональные позиции для установки имплантатов. Всё это обеспечивает долговечность и надёжность конструкции, минимизируя риск осложнений в отдалённые сроки.

Данные виртуального моделирования используются далее для создания хирургических шаблонов с помощью 3D-печати или фрезерования. Таким образом, виртуальная реконструкция становится связующим звеном между диагностикой, планированием и хирургическим этапом, обеспечивая логическую преемственность цифрового протокола.

В итоге цифровая диагностика в имплантологии представляет собой многоуровневый процесс, включающий использование КЛКТ, специализированного программного обеспечения и технологий виртуальной реконструкции. Она формирует основу для навигационной хирургии и применения 3D-шаблонов, обеспечивая переход к максимально персонализированной и предсказуемой стоматологии будущего.

#### **2.4 Биомеханические основы остеointegrации и цифровое планирование**

Одним из принципиально важных направлений цифровой диагностики является учёт биомеханических основ остеointegrации. Процессы приживления имплантата напрямую зависят от характеристик костной ткани, распределения жевательной нагрузки и параметров будущей ортопедической конструкции. Современные цифровые платформы позволяют моделировать напряжения и деформации в костной ткани, прогнозировать зоны перегрузки и определять оптимальные параметры имплантата ещё до хирургического вмешательства.

Использование компьютерных методов расчёта (в том числе конечно-элементного анализа) даёт возможность количественно оценить влияние диаметра, длины и наклона имплантата на биомеханику системы «имплантат–кость». Это позволяет не только минимизировать риск перегрузки и последующей резорбции кости, но и повысить долговечность всей конструкции. Таким образом, биомеханический анализ становится важным дополнением к цифровому планированию, обеспечивая комплексный подход к прогнозированию результатов имплантации.

## ГЛАВА 3. НАВИГАЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ

На современном этапе развития дентальной имплантологии одним из наиболее значимых направлений является внедрение методов навигационной хирургии, позволяющих максимально точно позиционировать дентальные имплантаты с учётом индивидуальной анатомии пациента. Если ранее установка имплантатов опиралась преимущественно на опыт хирурга, его мануальные навыки и ориентиры визуально-пальпаторного характера, то сегодня цифровые технологии предоставляют возможность выполнять вмешательства с использованием заранее смоделированных данных. Такой подход не только повышает воспроизводимость клинических результатов, но и существенно снижает риск осложнений.

Навигационная хирургия является результатом интеграции трёх фундаментальных компонентов: данных конусно-лучевой компьютерной томографии, специализированного программного обеспечения для цифрового планирования и технологий трёхмерной печати. Благодаря их синтезу удалось перейти от субъективных решений к стандартизированным протоколам, обеспечивающим высокую точность и предсказуемость. Не случайно в последние годы навигационная имплантология стала важным направлением международных клинических исследований и вошла в рекомендации ведущих профессиональных сообществ, таких как ИТИ (International Team for Implantology).

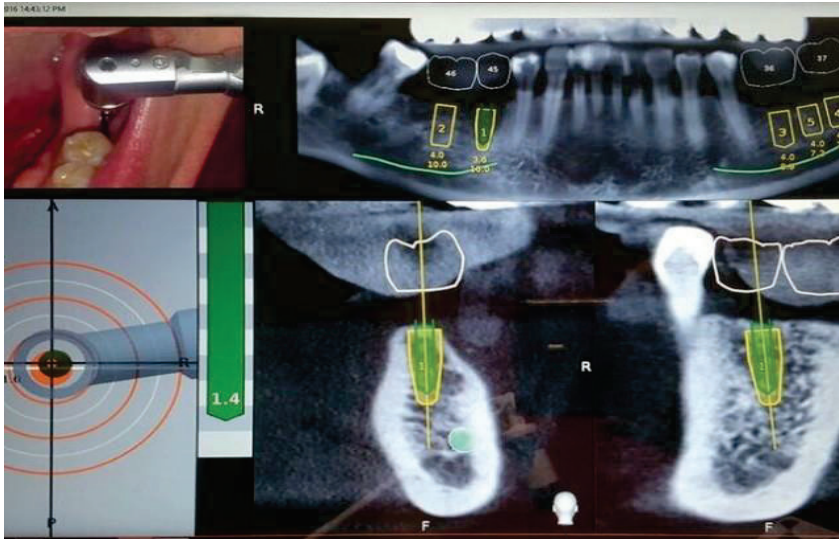
### 3.1. Понятие статической и динамической навигации

В современной клинической практике принято выделять два базовых подхода к навигационной имплантации — **статическую** и **динамическую навигацию**, каждая из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения.

**Статическая навигация** основана на применении хирургических шаблонов, изготовленных по результатам компьютерного моделирования. Такой шаблон фиксируется в полости рта и задаёт точную траекторию сверления и установки имплантата. Основными преимуществами метода

являются высокая точность, простота использования и относительная доступность. Исследования показывают, что среднее отклонение имплантата при статической навигации составляет 1,0–1,2 мм по апексу и около 2° по углу наклона, что является клинически приемлемым и значительно превышает точность традиционной имплантации «свободной рукой». Ограничением данного метода выступает невозможность изменения плана операции в реальном времени: все параметры определяются заранее и зависят от качества исходных диагностических данных. Это требует безупречной подготовки и внимательной верификации плана ещё на предоперационном этапе.

**Динамическая навигация**, напротив, предполагает использование компьютерно-навигационных систем, которые в режиме реального времени отслеживают положение хирургического инструмента относительно челюсти пациента. Визуализация осуществляется на экране монитора, где хирург видит как заранее запланированную траекторию, так и фактическое положение инструмента. Это обеспечивает возможность внесения коррекций в зависимости от клинической ситуации: например, при обнаружении изменённых анатомических условий или при необходимости адаптации глубины сверления. Данный метод отличается высокой гибкостью и интерактивностью, однако требует более сложного оборудования, значительных временных затрат на подготовку и высокой квалификации оператора. Согласно данным систематических обзоров, динамическая навигация обеспечивает отклонение менее 1 мм по апексу и до 1° по углу, что делает её наиболее точным, но и наиболее ресурсоёмким методом.



*Рисунок 3.1. Навигационная система Navident: совмещение виртуального плана и фактической траектории инструмента в режиме реального времени.*

Таким образом, статическая и динамическая навигация представляют собой не конкурирующие, а взаимодополняющие направления. Выбор конкретной методики зависит от клинических показаний, сложности случая, доступного оборудования и опыта специалиста. В повседневной практике статическая навигация чаще используется при стандартных клинических случаях и множественных имплантациях, тогда как динамическая методика востребована при работе в сложных анатомических условиях и в случаях, требующих особой прецизионности.

### **3.2. Компьютерно-навигационные системы: принципы работы**

Компьютерно-навигационные системы являются технологической основой навигационной хирургии. Их принцип работы заключается в интеграции данных конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) и внутриротового сканирования с последующим построением трёхмерной виртуальной модели челюстей. На основе этой модели определяется

оптимальное положение имплантатов с учётом анатомических, функциональных и эстетических факторов.

При статической навигации программное обеспечение генерирует данные для производства хирургического шаблона. С помощью CAD/CAM или 3D-печати изготавливается физический шаблон, снабжённый направляющими втулками для боров и имплантов. Таким образом, хирургические манипуляции строго регламентируются заранее определёнными координатами.

При динамической навигации система включает трекеры и сенсоры, фиксирующие положение инструментов в пространстве. С помощью инфракрасных камер или электромагнитных систем в режиме реального времени отображается траектория движения бора относительно анатомических структур пациента. Хирург получает визуальный контроль на мониторе, где отображается заранее запланированная и фактическая траектория, что позволяет проводить вмешательство максимально точно и безопасно.

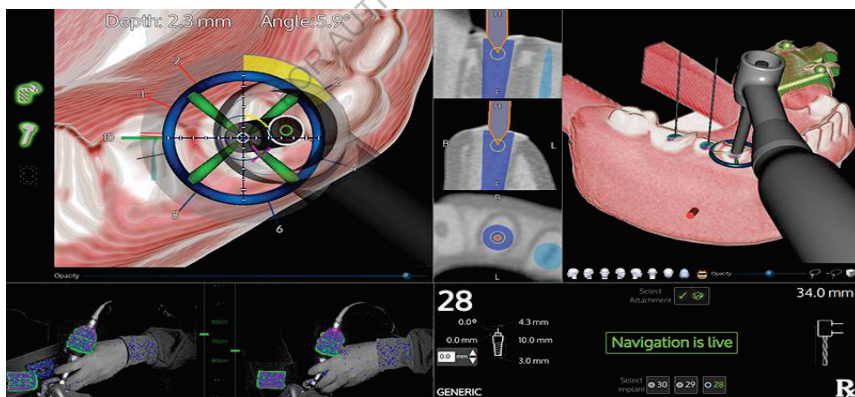


Рисунок 3.2. Интерфейс динамической навигационной системы X-Guide: отображение траектории сверла и параметров позиции

В обоих случаях компьютерная навигация позволяет объединить диагностический, хирургический и протетический этапы в единую систему, что соответствует принципам цифровой стоматологии.

### 3.3. Преимущества и ограничения навигационной имплантации

Как статический, так и динамический подход призваны повысить точность установки имплантатов по сравнению с традиционной свободной рукой. Исследования подтверждают, что навигационные методы позволяют добиться средних отклонений менее 1–1,5 мм от плана, тогда как при свободной имплантации отклонения могут составлять 2–4 мм. Например, в недавнем клиническом исследовании (94 имплантата) среднее глобальное смещение имплантата от плана составило ~1,0 мм при использовании динамической навигации и ~0,9 мм при использовании шаблонов, против ~1,7 мм при установке “на глаз”. Угловое отклонение при навигации было в среднем 2,5–3,7°, тогда как без навигации – почти 6°. Таким образом, точность существенно возрастает. Это особенно важно при близости анатомических рисков: навигация помогает избежать перфорации кортикальной пластинки, повреждения нижнечелюстного нерва или проникновения в гайморову пазуху за счёт более предсказуемой траектории сверления.

Другое преимущество – **минимальная инвазивность и комфорт пациента**. Навигация (особенно статическая) позволяет часто проводить имплантацию без разрезов и откидывания лоскута (так называемая flapless-хирургия). Шаблон направляет сверло через небольшие проколы в десне точно в цель, что сокращает объём хирургической травмы. В результате после операции пациенты испытывают меньше отёка, боли, реже требуются швы. Кроме того, время самого хирургического вмешательства обычно короче, так как врач не тратит его на ориентацию в кости – все движения чётко скоординированы планом.

Отдельно стоит отметить удобство при множественной имплантации. При ручной установке нескольких имплантатов добиться идеальной параллельности и нужного межимплантатного расстояния сложно. Навигационные шаблоны же обеспечивают точное взаимное расположение множества имплантатов согласно проекту будущего протеза. Это облегчает

последующее протезирование, например, на 4–6 имплантатах под полный несъёмный протез.

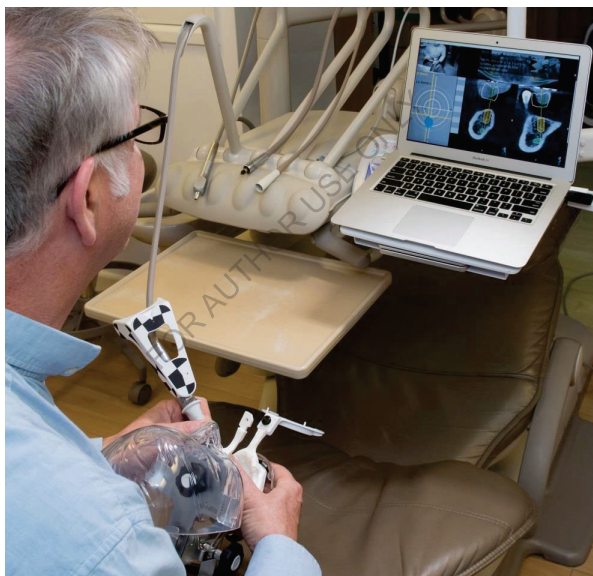
**Ограничения и недостатки:** У каждого метода есть и ограничения. Статическая навигация требует, чтобы шаблон прочно и точно фиксировался во рту. Если у пациента небольшое открывание рта или сложная анатомия, массивный шаблон может не поместиться или затруднить работу инструментом *medicinaoral.com*. Необходимо достаточное количество опор – например, на полностью беззубой челюсти шаблон на слизистой может иметь погрешность из-за податливости мягких тканей, поэтому его часто фиксируют дополнительными штифтами к кости. Ещё одно ограничение статического подхода – невозможность изменить план во время операции. Если хирург обнаружил, что фактическая анатомия отличается (например, плотность кости не позволяет достичь первоначальной глубины), шаблон уже не перестроить – приходится или прерывать навигацию, или мириться с отклонением. Также шаблоны частично закрывают обзор и затрудняют охлаждение сверла (ирригацию), повышая риск перегрева кости при неверной технике.

Динамическая навигация лишена некоторых из этих недостатков: она не требует шаблона, значит нет проблемы с открыванием рта и охлаждением. Однако у неё есть свои **технические сложности**. Во-первых, система дорогостоящая и требует обучения персонала для правильной калибровки и работы. Во-вторых, хирург должен освоить навык оперирования “по экрану” – постоянно сопоставлять движения рук с виртуальной картинкой, что поначалу непросто (нужна координация, похожая на работу с эндоскопическими приборами или лапароскопом). В-третьих, динамическая система чувствительна к неподвижности: если пациент шевельнулся или маркеры сместились (например, отклеился датчик), навигация сразу нарушается и требует повторной регистрации. Наконец, всегда есть риск технического сбоя – от потери камеры отслеживания до программного зависания, поэтому хирург должен быть готов перейти на план В (традиционную методику) в любой момент.

### 3.4. Клинические примеры навигационного позиционирования имплантатов

Для наглядного понимания эффективности навигационных технологий целесообразно рассмотреть их применение в различных клинических ситуациях. Именно примеры из практики позволяют продемонстрировать реальную ценность цифровых протоколов и подчеркнуть их роль в минимизации рисков, улучшении эстетических и функциональных результатов.

На рисунке видно, как врач управляет инструментом, используя навигационную систему и визуализацию траектории



*Рисунок 3.3. Хирургическая навигационная система в реальном времени при имплантации*

#### **Имплантация при атрофии альвеолярного гребня.**

Один из наиболее показательных случаев — установка имплантатов в условиях выраженного дефицита костной ткани. При традиционной имплантации хирург сталкивается с высоким риском перфорации кортикальной пластинки и необходимости выполнения костной пластики.

Применение статического шаблона позволяет максимально использовать остаточный костный объём: сверление проводится по заданной траектории, исключая смещение инструмента в опасные зоны. Клинические наблюдения показывают, что даже при минимальной толщине кости (3–4 мм) навигация позволяет добиться стабильного позиционирования имплантата и избежать осложнений.

На данном изображении видно, как система отображает оптимальную траекторию сверления даже при минимальной толщине костной ткани.

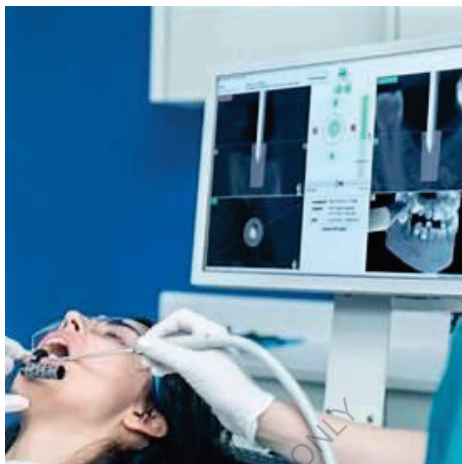


*Рисунок 3.4. Показ навигационной траектории и планирования имплантатов (X-Guide)*

### **Навигация в эстетически значимой зоне.**

Установка имплантата во фронтальном отделе верхней челюсти является одной из самых сложных задач в имплантологии, так как даже минимальное отклонение может негативно сказаться на эстетике улыбки. Использование хирургического шаблона обеспечивает правильный угол наклона и глубину установки, что позволяет сохранить гармонию десневого контура и достичь высоких эстетических показателей. В ряде публикаций указывается, что при навигационной имплантации процент повторных вмешательств в фронтальной зоне снижается более чем в два раза по сравнению с

традиционным подходом. Как видно на рисунке, навигационный контроль помогает точно направить инструмент в эстетической зоне, минимизируя риск ошибок



*Рисунок 3.5. Клинический пример навигационной установки имплантата в фронтальном отделе*

### **Множественная**

### **имплантация.**

При реабилитации пациентов с частичной или полной адентией особенно важно соблюсти параллельность и оптимальное распределение имплантатов. В ручном режиме добиться этого крайне сложно, особенно если речь идёт о протоколах типа *All-on-4* или *All-on-6*. Навигационные технологии позволяют заранее спроектировать точное взаимное расположение имплантатов, что упрощает последующее протезирование и увеличивает долговечность конструкции. Например, клинический анализ 120 случаев показал, что при навигационной установке среднее отклонение межимплантатного расстояния не превышало 0,6 мм, тогда как при свободной установке оно достигало 1,5–2 мм, что существенно осложняло ортопедический этап.

На данной иллюстрации система навигации помогает избежать повреждения соседних структур при множественной установке



*Рисунок 3.6. Операционная сцена: навигация в условиях сложной анатомии*

#### **Имплантация у пациентов с анатомическими осложнениями.**

Особое значение навигация приобретает у пациентов с высокой степенью пневматизации гайморовых пазух, близким расположением нижнечелюстного канала или выраженной резорбцией альвеолярного гребня. В таких случаях статическая и динамическая системы позволяют заранее просчитать траекторию, избежав травматизации жизненно важных структур. В литературе описаны случаи, когда динамическая навигация позволяла безопасно разместить имплантаты на расстоянии менее 2 мм от нижнечелюстного канала, что практически невозможно в условиях свободной установки.

#### **Образовательные и исследовательские аспекты.**

Клинические примеры также подтверждают, что навигация имеет высокую ценность в учебном процессе. Молодые хирурги, проходящие обучение с использованием навигационных систем, быстрее осваивают принципы пространственной ориентации и протетически-ориентированного планирования. Это снижает количество ошибок на ранних этапах практики и

формирует культуру точности, что в дальнейшем положительно сказывается на результатах их самостоятельной клинической деятельности.

Таким образом, клинические примеры подтверждают, что навигационная хирургия является не просто технологической инновацией, а важным инструментом повышения точности, эффективности и предсказуемости имплантологического лечения.

В целом, навигационная хирургия занимает особое место в современной имплантологии, представляя собой логический результат цифровой трансформации стоматологии. Она сочетает достижения компьютерной диагностики, 3D-моделирования и CAD/CAM-технологий, формируя новый стандарт клинической практики, направленный на максимальную персонализацию и безопасность лечения.

FOR AUTHOR USE ONLY

## ГЛАВА 4. 3D-ШАБЛОНЫ В ИМПЛАНТОЛОГИИ

Внедрение трёхмерных технологий в стоматологическую практику стало одной из ключевых вех в развитии современной имплантологии. Если ещё два десятилетия назад установка имплантатов в большинстве случаев основывалась на субъективном опыте хирурга и визуально-пальпаторных ориентирах, то сегодня цифровая стоматология позволяет реализовать принципиально новый подход. Центральное место в этом переходе занимают хирургические 3D-шаблоны — физические конструкции, изготовленные на основе виртуального планирования. Их использование обеспечивает не только высокую точность и воспроизводимость операций, но и делает возможным стандартизацию всего хирургического этапа. Благодаря этому роль человеческого фактора существенно снижается, а качество и предсказуемость реабилитации пациентов выходят на новый уровень.

### 4.1. Методика изготовления хирургических шаблонов: от цифрового сканирования до печати

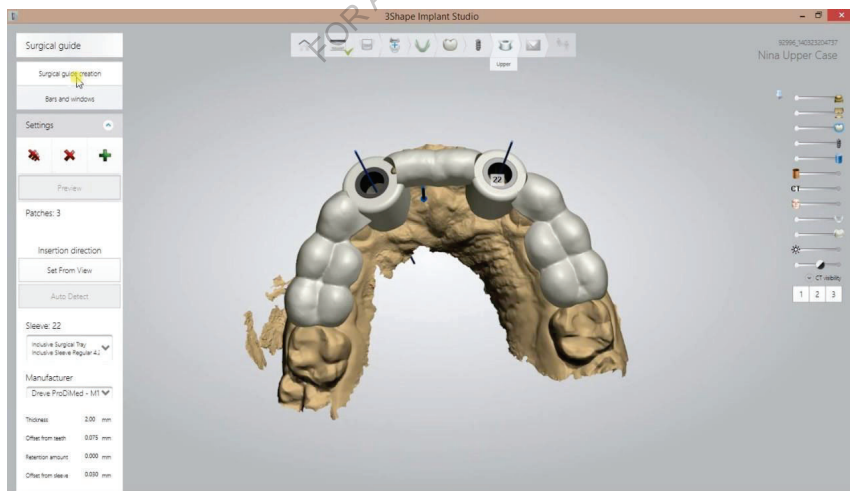
Процесс создания хирургических 3D-шаблонов представляет собой сложный, но строго регламентированный цифровой цикл, включающий несколько взаимосвязанных этапов.

На первом этапе осуществляется **сбор диагностических данных**. Обязательным компонентом является конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ), которая позволяет получить детальное трёхмерное изображение челюстно-лицевой области с визуализацией костных структур и анатомически значимых элементов. Дополнительно проводится внутриротовое или лабораторное сканирование зубных рядов. Данные сканирования обеспечивают максимально точную передачу окклюзионных контактов, формы зубов, а также особенностей мягких тканей, что особенно важно при планировании эстетической зоны.

Второй этап — **интеграция данных** в специализированное программное обеспечение (NobelClinician, coDiagnostiX, Blue Sky Plan, 3Shape Implant Studio и др.). Виртуальная модель челюстей пациента объединяет

результаты КЛКТ и сканирования, формируя цифрового «двойника» зубочелюстной системы. На этой модели хирург и ортопед совместно определяют оптимальное расположение имплантатов. Планирование проводится с учётом целого ряда факторов: объёма и плотности костной ткани, близости к нижнечелюстному каналу и гайморовым пазухам, особенностей прикуса и протетических требований. Такой подход реализует принцип протетически ориентированной имплантологии, когда хирургический этап заранее согласован с будущей ортопедической конструкцией.

Третий этап — **проектирование хирургического шаблона**. В программном модуле задаются параметры изделия: количество и диаметр направляющих втулок, точки опоры, способ фиксации, толщина и форма каркаса. Особое внимание уделяется эргономике конструкции, чтобы она не мешала работе инструментов и в то же время сохраняла стабильность. Полученный проект экспортируется в формате STL — универсальном стандарте для трёхмерной печати, обеспечивающем совместимость между различными программами и оборудованием.



*Рисунок 4.1. Интерфейс CAD-программы с виртуальным шаблоном на 3D-модели челюсти*

Четвёртый этап — **производство шаблона**. Современные методы 3D-печати позволяют изготавливать конструкции с высокой точностью и биосовместимостью. Наиболее распространены технологии стереолитографии (SLA) и цифровой лазерной проекции (DLP), обеспечивающие высокую детализацию и гладкость поверхности. Для печати используются фотополимерные смолы, сертифицированные для медицинского применения: они обладают достаточной прочностью, прозрачностью для визуального контроля и устойчивостью к стерилизации. В некоторых случаях применяют CAD/CAM-фрезерование из акриловых или поликарбонатных блоков, что обеспечивает ещё большую механическую прочность.

Заключительный этап — **клиническая верификация**. Перед началом операции шаблон примеряется в полости рта пациента, оценивается точность его прилегания и стабильность фиксации. В случае необходимости выполняется доработка или дополнительная фиксация с помощью штифтов. Только после этого изделие допускается к применению в хирургии.



*Рисунок 4.2. Пример верификации шаблона на модели челюсти перед операцией*

Таким образом, весь цикл изготовления хирургических 3D-шаблонов — от диагностического сканирования до 3D-печати и клинической верификации — представляет собой целостный цифровой процесс. Он исключает субъективные промежуточные ошибки, обеспечивает полное соответствие клиническому плану и является связующим звеном между диагностическим и хирургическим этапами современной имплантологии.

#### **4.2. Виды шаблонов: опорные, мукозные, костные, комбинированные**

Современная классификация хирургических 3D-шаблонов основана на характере их фиксации и типе опорных структур. Каждый из вариантов имеет собственные показания, преимущества и ограничения, что требует от клинициста грамотного выбора с учётом индивидуальных особенностей пациента и задач протезирования.



*Рисунок 4.3. Схематическое сравнение видов хирургических шаблонов*

Опорные (зубо-опорные) шаблоны.

Данный тип шаблонов фиксируется на сохранившихся зубах и считается наиболее стабильным и предсказуемым. Высокая точность обусловлена тем, что зубы являются естественными и неподвижными ориентирами,

обеспечивающими минимальные смещения конструкции в полости рта. Зубо-опорные шаблоны применяются преимущественно у пациентов с частичной адентией, когда имеется достаточное количество клинически устойчивых зубов. Преимуществом является не только точность позиционирования имплантатов, но и удобство для хирурга, так как фиксация не требует дополнительных элементов. Ограничением выступают случаи, когда опорные зубы подвержены подвижности или имеют неудовлетворительное пародонтальное состояние.



#### PILOT SURGICAL GUIDES

Used for the initial drill only to ensure the accurate position and inclination of the implant. The rest of the placement procedure is completed freehand.



#### TOOTH SUPPORTED SURGICAL GUIDES

Usually fabricated for single implant placement or partially edentulous patients. Easily reproducible landmarks (teeth) are used for retention and support.



#### TISSUE SUPPORTED SURGICAL GUIDES

Gaining its main support and retention from the mucosa, the tissue supported guides are commonly fabricated based on existing removable prosthesis.



#### BONE SUPPORTED SURGICAL GUIDES

Usually used for edentulous patients, this type of guide gains its support from the load bearing areas or the divergence of the alveolar ridge.

*Рисунок 4.4. Зубо-опорный шаблон в сравнении с другими типами Мукозные шаблоны.*

Этот вариант применяется при полной адентии и фиксируется на слизистой оболочке альвеолярного отростка. Мукозные шаблоны удобны и малоинвазивны, однако их стабильность ограничена податливостью мягких тканей. Даже незначительные движения слизистой под нагрузкой могут приводить к смещениям, что сказывается на точности установки имплантатов. Для повышения стабильности в ряде случаев используют штифтовую фиксацию шаблона к кости или специальные опорные элементы. Преимуществом мукозных шаблонов является отсутствие необходимости в

зубных опорах и возможность их применения у полностью беззубых пациентов, что делает данный тип конструкций незаменимым при массовой имплантации в рамках протоколов полной реабилитации.

Костные шаблоны.

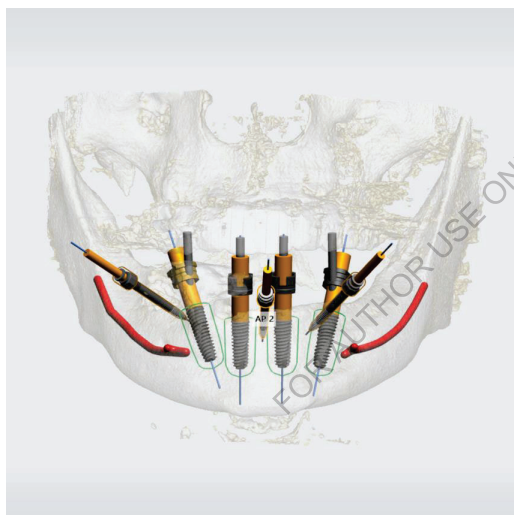
Фиксируются непосредственно на костной ткани после откидывания слизисто-надкостничного лоскута. Такой подход обеспечивает максимальную точность, так как исключает подвижность слизистой и минимизирует риск смещения шаблона. Однако применение костных шаблонов требует более травматичной подготовки операционного поля, увеличивает длительность вмешательства и послеоперационный дискомфорт. Тем не менее, они находят применение в случаях выраженного дефицита зубов и слизистой опоры, при сложных реконструктивных операциях, а также в зонах, где необходима абсолютная прецизионность позиционирования (например, вблизи нижнечелюстного канала).



*Рисунок 4.5. Костной хирургический шаблон с направляющими  
столками*

Комбинированные шаблоны.

Этот тип объединяет элементы зубной, мукозной и костной фиксации, позволяя достигать максимальной стабильности и точности в клинически сложных условиях. Комбинированные шаблоны используются, когда традиционные варианты не обеспечивают достаточной предсказуемости. Например, при частичной адентии с небольшим количеством сохранившихся зубов или при неравномерной атрофии костной ткани. Их преимуществом является универсальность и возможность индивидуализации под конкретного пациента, однако они требуют более сложного проектирования и часто сопровождаются увеличением стоимости лечения.



*Рисунок 4.6. Комбинированный шаблон и виртуальное моделирование имплантатов*

В целом выбор типа шаблона всегда определяется клинической ситуацией. Зубо-опорные конструкции демонстрируют наивысшую точность и простоту, мукозные — универсальны для полной адентии, костные — незаменимы при дефиците опор, а комбинированные — служат решением для нестандартных и сложных клинических задач. Решение о выборе вида шаблона должно приниматься в контексте комплексного плана лечения,

включая ортопедическую перспективу, анатомические условия и уровень хирургической сложности.

#### **4.3. Точность позиционирования имплантатов при использовании шаблонов**

Точность позиционирования имплантатов является ключевым критерием успеха навигационной хирургии, и многочисленные исследования последних лет убедительно подтверждают, что применение хирургических шаблонов существенно повышает воспроизводимость и предсказуемость результата. Средние линейные отклонения на входе и вершине имплантата при использовании правильно изготовленных шаблонов, как правило, не превышают 1 мм, а угловые колеблются в пределах 2–4°. Для сравнения, при установке имплантатов методом «свободной руки» эти показатели в 2–3 раза выше, что существенно увеличивает риск выхода за пределы костного контура или повреждения анатомически значимых структур.

Однако шаблоны не обеспечивают абсолютной точности, и всегда существуют отклонения между виртуальным проектом и фактическим положением имплантата. Источники ошибок носят комплексный характер. К ним относятся: технические ограничения КЛКТ (погрешность около  $\pm 0,2$  мм), неточности совмещения томографических данных с внутривидеоскопическим сканированием, ошибки при 3D-печати (усадка или деформация смолы, неточность работы принтера), микроподвижность шаблона во время операции, люфт инструмента в гильзе, а также биологические факторы — эластичность кости при сверлении и индивидуальные особенности анатомии. В результате суммарное конечное отклонение может достигать нескольких миллиметров.

Систематический обзор Tahmaseb и соавт. (2018), включивший более 2000 имплантатов, показал, что среднее горизонтальное смещение при навигационной имплантации составляло  $\sim 1,2$  мм, а угловое отклонение — около 3,5°. Максимальные зарегистрированные ошибки достигали 4 мм по апексу и до 9° по углу, хотя такие случаи встречались редко. Более поздние метаанализы (Vercruyssen et al., 2019; Schneider et al., 2021) подтвердили эти

данные, отметив, что наиболее высокая точность характерна для зубо-опорных шаблонов, тогда как мукозные при полной адентии демонстрируют большее количество отклонений из-за податливости слизистой оболочки. Костные и комбинированные конструкции, напротив, обеспечивают высокую стабильность даже в сложных клинических условиях, но требуют более травматичного доступа.

Следует подчеркнуть, что использование шаблонов особенно важно в зонах анатомического риска: при близости нижнечелюстного канала, гайморовой пазухи или носовой полости. В таких случаях имплантологи оставляют так называемые «безопасные зазоры»: например, планируют имплантат на 2 мм короче расстояния до канала нерва или на 1 мм уже толщины кости. Такой протокол позволяет компенсировать возможные технические отклонения и гарантировать сохранность критических структур даже при незначительном расхождении с виртуальным планом.

Важной клинической особенностью является повышение точности в вертикальной плоскости. Шаблон обеспечивает ограничение глубины сверления за счёт упора втулки или применения сверл с фиксированным ограничителем, что предотвращает избыточное заглубление имплантата. Это критично для сохранения оптимальной высоты альвеолярного гребня и правильного формирования десневого профиля, что в дальнейшем напрямую влияет на эстетику ортопедической конструкции.

Кроме того, шаблоны позволяют добиться высокой степени параллельности при множественной имплантации. Вручную обеспечить идентичный наклон нескольких имплантатов крайне сложно, и даже минимальные расхождения могут вызвать трудности на этапе протезирования. Использование навигационного шаблона гарантирует точное взаимное расположение имплантатов в соответствии с протетическим проектом, облегчая фиксацию мостовидных конструкций и полных несъёмных протезов.

Таким образом, несмотря на существующие ограничения и потенциальные источники погрешностей, хирургические 3D-шаблоны

обеспечивают значительное повышение точности и безопасности имплантационных вмешательств. Их применение позволяет клиницистам придерживаться протетически ориентированного принципа имплантации и минимизировать риски осложнений, что делает технологию неотъемлемым инструментом современной цифровой стоматологии.

#### 4.4. Сравнение 3D-шаблонов с традиционными методами

Исторически дентальная имплантация развивалась как техника, основанная на свободной руке хирурга, когда позиционирование имплантата определялось главным образом клиническим опытом врача, визуальными ориентирами и анатомическими особенностями, выявленными во время операции. Такой подход обеспечивал достаточную гибкость и позволял адаптироваться к неожиданным обстоятельствам, однако сопровождался высокой степенью вариабельности результата. Цифровые технологии и появление хирургических 3D-шаблонов изменили парадигму: теперь точность и воспроизводимость операции во многом зависят не от субъективного опыта, а от объективных данных виртуального планирования.

Таблица 1. Сравнительная характеристика традиционной имплантации и применения 3D-шаблонов

Критерий	Традиционная имплантация («свободной рукой»)	Имплантация с использованием 3D-шаблонов
<b>Точность позиционирования</b>	Отклонения: 2–4 мм по апексу, 6–8° по углу наклона. Высокая зависимость от опыта хирурга.	Средние отклонения: ~1 мм и 2–4°. Высокая воспроизводимость и безопасность, особенно в зонах анатомического риска.
<b>Инвазивность операции</b>	Требуется разрез и откидывание слизисто-надкостничного лоскута. Более травматичная техника.	Возможность flapless-хирургии (без разрезов). Минимальная травматизация тканей, меньше боли и отёка.
<b>Продолжительность операции</b>	Более длительная хирургическая часть, необходимость визуального контроля.	Операция короче на 20–30% благодаря заранее смоделированному протоколу. Дольше только подготовительный этап

		(КЛКТ, сканирование, изготовление шаблона).
<b>Риск осложнений</b>	Риск перфорации гайморовой пазухи — до 10–12%, вероятность повреждения нижнечелюстного канала выше.	Риск осложнений снижается в 3–4 раза. Повышенный уровень безопасности за счёт точного планирования.
<b>Эстетическая предсказуемость</b>	Результат зависит от субъективного выбора хирурга, выше риск нарушений контура десны и ориентации коронки.	Обеспечивает оптимальную ориентацию имплантата, гармоничный контур десны и прогнозируемый эстетический результат.
<b>Ограничения метода</b>	Полезен при экстренной имплантации, непредсказуемых клинических условиях, при отсутствии цифрового оборудования.	Требуется КЛКТ, сканирования, ПО и 3D-принтера. Зависимость от качества данных и опыта в цифровом планировании.
<b>Гибридные протоколы</b>	Возможность корректировок вручную во время операции.	Используются комбинированные подходы: шаблон + ручная коррекция, объединяя точность и гибкость.

**Точность и предсказуемость.** Традиционная имплантация демонстрирует значительные индивидуальные колебания в зависимости от опыта и квалификации хирурга. Средние отклонения при установке имплантатов «свободной рукой» составляют 2–4 мм по апексу и до 6–8° по углу наклона. Использование 3D-шаблонов позволяет снизить эти показатели до 1 мм и 2–4° соответственно, что особенно важно при установке имплантатов в зонах анатомического риска (нижнечелюстной канал, гайморовы пазухи, носовая полость). Таким образом, цифровой протокол обеспечивает высокий уровень безопасности и воспроизводимости результатов.

**Минимальная инвазивность.** Операции, выполненные по шаблонам, часто реализуются по протоколу *flapless*-хирургии, то есть без откидывания слизисто-надкостничного лоскута. Это сокращает травматизацию тканей, снижает выраженность боли, отёка и воспалительной реакции в послеоперационном периоде. В традиционной хирургии необходимость

широкого разреза и визуального контроля делает вмешательство более травматичным, что увеличивает сроки реабилитации.

**Длительность операции и послеоперационное восстановление.** Заранее смоделированная хирургия позволяет существенно сократить время вмешательства. Исследования показывают, что при использовании шаблонов средняя продолжительность операции уменьшается на 20–30% по сравнению с имплантацией «свободной рукой». Более короткая операция снижает стресс для пациента и уменьшает риск интраоперационных осложнений. В то же время подготовительный этап при навигационной имплантации более продолжителен, так как требует КЛКТ, сканирования и изготовления шаблона, однако эти временные затраты компенсируются на хирургическом этапе.

**Снижение риска осложнений.** Навигация позволяет существенно уменьшить вероятность повреждения соседних анатомических структур. Например, при традиционной имплантации риск перфорации гайморовой пазухи достигает 10–12% случаев, тогда как при использовании 3D-шаблонов он снижается в 3–4 раза. Подобные данные подтверждены в систематических обзорах и метаанализах последних лет.

**Эстетическая предсказуемость.** Особенно значимым преимуществом шаблонов является обеспечение правильного позиционирования имплантата во фронтальной зоне, где даже минимальные отклонения могут приводить к выраженным эстетическим проблемам. При традиционной имплантации окончательный результат во многом зависит от субъективного выбора хирурга и его навыков, тогда как цифровое планирование гарантирует сохранение гармонии десневого контура и правильную ориентацию будущей коронки.

**Ограничения и значение традиционных методов.** Тем не менее, традиционные методы сохраняют свою актуальность. В случаях, когда клиническая ситуация непредсказуема (например, при наличии скрытых патологических очагов, резкой изменчивости плотности кости или осложнённых анатомических условиях), именно опыт хирурга и его мануальные навыки становятся определяющим фактором успеха. Кроме того,

не всегда имеется техническая возможность оперативно изготовить шаблон, особенно в условиях ограниченных ресурсов или экстренной имплантации. В таких ситуациях имплантация «свободной рукой» остаётся незаменимой.

**Гибридные протоколы.** На практике всё чаще применяются комбинированные подходы: хирург может использовать шаблон на этапе первичной остеотомии, а затем вносить коррекции вручную. Такой гибридный метод объединяет точность цифрового планирования и гибкость традиционной хирургии.

В целом сравнительный анализ показывает, что использование 3D-шаблонов стало одним из ключевых этапов цифровой революции в стоматологии. Эти конструкции обеспечивают точность, безопасность и высокую клиническую эффективность, позволяя интегрировать хирургический и ортопедический этапы в единый цифровой процесс. Их превосходство над традиционными методами убедительно доказано, однако успешное применение требует строгого соблюдения протоколов, качественных диагностических данных и высокой квалификации специалистов.

## **ГЛАВА 5. КЛИНИЧЕСКИЕ И ХИРУРГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Современная дентальная имплантология демонстрирует устойчивую тенденцию к интеграции цифровых технологий, что особенно ярко проявляется при решении сложных клинических задач. Использование виртуального планирования, навигационной хирургии и 3D-шаблонов позволяет не только повысить точность и безопасность вмешательств, но и существенно расширить возможности специалистов в условиях анатомически ограниченных ситуаций. Наибольший интерес представляют аспекты применения цифровых технологий при узких альвеолярных дугах, близости гайморовых пазух и нижнечелюстного нерва, при выраженной атрофии костной ткани, а также у пациентов с полной адентией, где именно цифровые методы становятся ключом к успешной реабилитации.

### **5.1 Планирование в сложных клинических случаях**

Следует подчеркнуть, что именно сложные клинические ситуации становятся главным полем для раскрытия потенциала цифровой стоматологии. При узкой альвеолярной дуге традиционная имплантация сопряжена с высоким риском перфорации кортикальных пластинок и недостаточной первичной стабилизации имплантата. Виртуальное планирование на основе данных КЛКТ позволяет с высокой точностью оценить толщину и объём костной ткани, рассчитать оптимальный диаметр и длину имплантата, а также спрогнозировать необходимость аугментационных процедур. Такой подход исключает субъективность и позволяет врачу заранее сформировать алгоритм хирургического вмешательства.

Не менее актуальной является проблема близости гайморовых пазух и нижнечелюстного канала. В этих случаях даже минимальное отклонение от заданной траектории может привести к серьёзным осложнениям: перфорации синуса, неврологическим нарушениям или хроническим воспалительным процессам. Применение цифрового моделирования позволяет заранее визуализировать расположение анатомически значимых структур и выбрать

наиболее безопасный вектор установки. Более того, специализированные программы предоставляют возможность моделировать сценарии проведения синус-лифтинга, направленной костной регенерации или альтернативного расположения имплантатов в обход рискованных зон. Таким образом, цифровое планирование в сложных случаях является неотъемлемым элементом современной хирургической стратегии.

Особое значение цифровые технологии имеют и в **эстетически значимой зоне**. Даже незначительное отклонение имплантата на несколько градусов может отразиться на наклоне коронки и нарушить гармонию улыбки. Виртуальное планирование позволяет учесть не только анатомические факторы, но и эстетические параметры — положение будущей коронки, контуры десны, линию улыбки. Благодаря этому удаётся добиться функционально и эстетически оптимальных результатов, что особенно важно для молодых пациентов с высокими требованиями к внешнему виду.

## **5.2 Навигационная хирургия при множественных и единичных имплантациях**

Вопросы навигационной хирургии занимают особое место в практической имплантологии, поскольку именно здесь проявляется принципиальное преимущество цифрового подхода — высокая воспроизводимость результатов. При установке единичного имплантата использование навигационных систем обеспечивает точное соответствие между запланированным и фактическим положением конструкции. Особенно это важно во фронтальном отделе верхней челюсти, где эстетика имеет решающее значение, а минимальная ошибка может привести к неудовлетворительному исходу.

При множественных имплантациях значение навигации ещё более возрастает. В таких случаях требуется не только правильное позиционирование каждого имплантата, но и их согласованное расположение с учётом межимплантатных расстояний, параллельности и распределения жевательной нагрузки. Традиционные методы, основанные на опыте хирурга,

не всегда позволяют достичь оптимальной симметрии и обеспечить ортопедически ориентированное положение. Применение цифровых технологий решает эту проблему за счёт точной визуализации и контроля траектории имплантации в реальном или статически заданном пространстве.

По данным клинических исследований, использование навигационных шаблонов при множественной имплантации снижает риск отклонения осей имплантатов почти в два раза по сравнению с традиционной установкой. Это облегчает этап протезирования, обеспечивает равномерное распределение нагрузки и повышает долговечность всей конструкции. Особенно эффективно навигационное планирование проявляется себя в протоколах типа *All-on-4* и *All-on-6*, где правильная ориентация имплантатов является определяющим фактором для успеха несъёмных протезов.

Таким образом, навигационная хирургия при единичных и множественных имплантациях обеспечивает новый уровень стандартизации, минимизирует ошибки и способствует долгосрочной стабильности результата. Она становится обязательным компонентом комплексного цифрового протокола, объединяющего хирурга, ортопеда и зубного техника в единую команду, работающую по принципам междисциплинарного взаимодействия.

### **5.3 Применение 3D-шаблонов у пациентов с полной адентией**

Отдельного внимания заслуживает использование хирургических 3D-шаблонов у пациентов с полной адентией, где традиционные методы имплантации оказываются наименее предсказуемыми и технически наиболее сложными. Отсутствие зубов лишает хирурга естественных анатомических ориентиров, которые в обычных случаях служат надёжной опорой для позиционирования имплантатов. Дополнительную трудность создаёт выраженная атрофия альвеолярного отростка, характерная для длительно беззубых челюстей, и подвижность слизистой оболочки, покрывающей кость. Эти факторы значительно затрудняют ручное ориентирование и могут приводить к смещению имплантатов, нарушению параллельности и функциональной несостоятельности ортопедической конструкции.

В этих условиях применение хирургических шаблонов становится оптимальным решением. Наибольшее распространение получили **мукозные шаблоны**, которые фиксируются на поверхности слизистой и позволяют проводить малоинвазивную имплантацию без разрезов. Несмотря на потенциальную подвижность слизистой, такие конструкции при правильном проектировании обеспечивают достаточную стабильность, особенно при дополнительной фиксации с помощью штифтов. В случаях выраженной атрофии костной ткани предпочтение отдают **костным шаблонам**, фиксируемым непосредственно к челюсти. Они требуют откидывания слизисто-надкостничного лоскута, что делает вмешательство более травматичным, но гарантирует максимальную точность позиционирования имплантатов. В ряде случаев применяются комбинированные конструкции, сочетающие преимущества обоих методов.



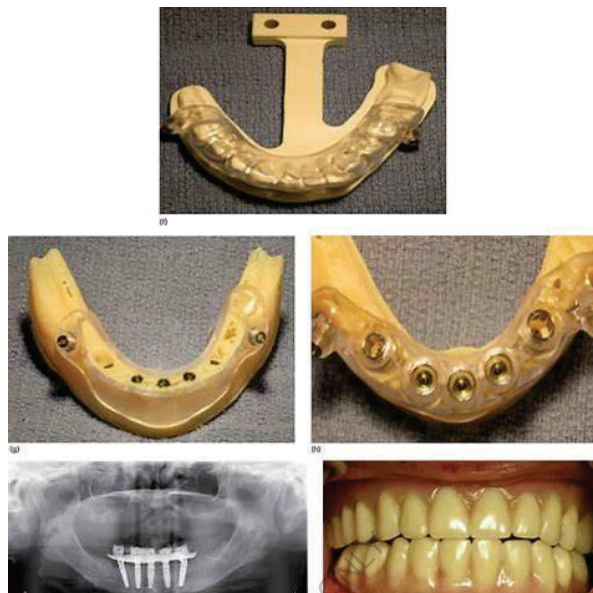
*Рисунок 5.1 — шаблон, установленный на модель челюсти с направляющими отверстиями*

Особую ценность цифровое планирование и изготовление шаблонов приобретают при реализации протоколов полной реабилитации, таких как *All-on-4* или *All-on-6*. Виртуальное моделирование позволяет заранее определить оптимальное количество, длину и угол наклона имплантатов, обеспечив их правильное распределение в пределах атрофированной челюсти. Важнейшим преимуществом является возможность предварительного моделирования

будущего протеза: хирургический этап подчиняется ортопедической задаче, что полностью соответствует концепции протетически ориентированной имплантации.

Особенно актуальны цифровые технологии при протоколах **немедленной нагрузки**, когда пациент получает временный протез в день операции. В этих случаях шаблон гарантирует точное соответствие хирургического результата заранее спроектированной ортопедической конструкции. Это снижает риск осложнений, связанных с несоответствием положения имплантатов и протеза, и позволяет пациенту уже в кратчайшие сроки восстановить жевательную функцию и эстетику.

Клинические исследования подтверждают эффективность подобного подхода. Так, по данным систематических обзоров, выживаемость имплантатов при использовании мукозных или костных шаблонов у пациентов с полной адентией превышает 95% в пятилетнем периоде наблюдения, а уровень осложнений значительно ниже по сравнению с имплантацией «свободной рукой». Более того, пациенты отмечают существенное повышение удовлетворённости лечением, сокращение сроков реабилитации и улучшение качества жизни.



*Рисунок 5.2 — примеры реальных хирургических шаблонов у пациентов с полной адентией*

Таким образом, применение 3D-шаблонов у пациентов с полной адентией не только облегчает работу хирурга, но и радикально меняет парадигму реабилитации этой сложной категории больных. Виртуальное планирование и цифровые протоколы обеспечивают безопасность, точность и предсказуемость лечения, позволяя реализовать протетически ориентированный подход и внедрять протоколы немедленной нагрузки. Всё это свидетельствует о том, что цифровая трансформация имплантологии — это не просто технологический прогресс, а фундаментальное улучшение качества стоматологической помощи и социальной адаптации пациентов с полной потерей зубов.

#### **5.4. Сравнительные клинические исследования традиционной и цифровой имплантации**

Эффективность цифровых технологий в дентальной имплантологии наглядно подтверждается результатами сравнительных клинических исследований, где оценивались точность позиционирования имплантатов,

частота осложнений, сроки реабилитации и удовлетворённость пациентов. Сопоставление цифровых и традиционных протоколов позволяет объективно определить преимущества и ограничения каждой методики.

**Точность позиционирования.** Исследования показывают, что при установке имплантатов «свободной рукой» средние отклонения от запланированной позиции составляют 2–4 мм по апексу и 6–8° по углу наклона. При использовании навигационных систем и 3D-шаблонов эти значения снижаются до 1 мм и 2–4° соответственно. Особенно важно это во фронтальной зоне и в областях, близких к анатомически критическим структурам, где даже минимальное смещение может привести к осложнениям или нарушению эстетики.

**Частота осложнений.** Метаанализы последних лет демонстрируют, что применение хирургических шаблонов снижает риск перфорации гайморовых пазух и нижнечелюстного канала в 2–3 раза. При flapless-протоколах уменьшается выраженность воспалительных реакций, болевого синдрома и отёка в послеоперационном периоде. В то же время традиционная имплантация в ряде случаев сопровождается более высокой частотой вторичных вмешательств, связанных с необходимостью коррекции положения имплантата или доработки ортопедического этапа.

**Сроки операции и реабилитации.** Средняя продолжительность хирургического вмешательства при использовании цифровых протоколов сокращается на 20–30% по сравнению с традиционной установкой. Кроме того, flapless-методика позволяет пациентам быстрее вернуться к привычной активности. Однако следует учитывать, что подготовительный этап цифрового планирования (КЛКТ, сканирование, изготовление шаблонов) требует дополнительного времени и затрат, что несколько смещает баланс в пользу традиционных методов при экстренных имплантациях.

**Удовлетворённость пациентов.** Анкетные исследования показывают, что пациенты, у которых применялись цифровые технологии, оценивают лечение как более предсказуемое и комфортное. Визуализация будущего

результата повышает доверие к врачу и снижает уровень тревожности. По данным опросов, удовлетворённость результатом реабилитации у этой категории пациентов достигает 90–95%, тогда как при традиционной имплантации показатель несколько ниже — около 80–85%.

**Обобщение результатов.** Таким образом, клинические исследования подтверждают, что цифровая имплантология обеспечивает более высокую точность, меньшую частоту осложнений и лучшую предсказуемость эстетических и функциональных исходов. Несмотря на определённые ограничения, связанные с доступностью технологий и необходимостью специализированной подготовки специалистов, цифровые протоколы в настоящее время рассматриваются как «золотой стандарт» для большинства плановых имплантационных вмешательств.

#### **5.5. Экономические аспекты применения цифровых технологий в имплантологии**

Современное развитие цифровой стоматологии неизбежно связано не только с клиническими, но и с экономическими аспектами её внедрения. Анализ стоимости, окупаемости и рентабельности цифровых решений является важнейшим условием их широкого распространения в практическом здравоохранении. В отличие от традиционной имплантации, где материальные затраты ограничиваются инструментарием и стандартными хирургическими расходами, цифровые протоколы требуют значительных первоначальных инвестиций в оборудование, программное обеспечение и обучение персонала.

**Затраты на оборудование и программное обеспечение.** Основными статьями расходов являются приобретение конусно-лучевого компьютерного томографа (КЛКТ), интраоральных сканеров, CAD/CAM-систем и 3D-принтеров. Стоимость каждого из этих компонентов колеблется от десятков до сотен тысяч долларов, что делает цифровую имплантологию финансово доступной прежде всего для крупных стоматологических центров. Дополнительные расходы связаны с обновлением программного обеспечения и техническим обслуживанием оборудования.

**Окупаемость и рентабельность.** Несмотря на высокие первоначальные вложения, цифровые технологии демонстрируют значительный потенциал окупаемости. Сокращение времени хирургического вмешательства позволяет увеличить поток пациентов, а высокая точность и предсказуемость снижают риск осложнений и повторных вмешательств, что напрямую влияет на экономическую эффективность. Кроме того, использование цифрового планирования открывает возможность внедрения протоколов немедленной нагрузки и «одного визита», что повышает конкурентоспособность клиники и привлекает новых пациентов.

**Стоимость лечения для пациентов.** Цифровые протоколы, как правило, увеличивают конечную стоимость лечения, что связано с необходимостью проведения КЛКТ, сканирования и изготовления шаблонов. Однако пациенты зачастую готовы оплачивать эти расходы, поскольку преимущества в виде более короткого реабилитационного периода, меньшей травматичности и высокой эстетики результата воспринимаются как весомая инвестиция в качество жизни. По результатам социологических исследований, более 70% пациентов положительно оценивают оправданность дополнительных расходов при условии достижения прогнозируемого результата.

**Макроэкономический эффект.** На уровне здравоохранения внедрение цифровых технологий способствует снижению общей стоимости лечения за счёт уменьшения частоты осложнений, повторных госпитализаций и затрат на коррекцию неудачных протоколов. Это имеет особое значение в условиях страховой медицины, где высокая точность и надёжность лечения позволяют оптимизировать финансовые потоки и повысить эффективность использования ресурсов.

Таким образом, цифровые технологии в имплантологии представляют собой инвестиционно ёмкое направление, однако их клинические преимущества напрямую конвертируются в экономическую эффективность. Окупаемость достигается за счёт увеличения потока пациентов, сокращения

частоты осложнений и повышения конкурентоспособности клиники. В долгосрочной перспективе цифровая имплантология становится не только технологическим, но и финансовым стандартом современной стоматологической практики.

#### **5.6. Психологическое восприятие цифровых технологий пациентами**

Цифровизация имплантологии затрагивает не только клинические и экономические аспекты, но и психологическое восприятие пациентами. Современный подход к стоматологическому лечению невозможно рассматривать вне контекста доверия пациента, его готовности к сотрудничеству и уровня комплаентности. Именно эти факторы в значительной мере определяют успешность реабилитации и долгосрочный прогноз.

**Доверие к цифровым технологиям.** Большинство пациентов воспринимают цифровые методы как показатель современного уровня клиники и профессионализма врача. Применение КЛКТ, интраоральных сканеров и 3D-шаблонов повышает уверенность пациента в точности диагностики и предсказуемости результата. Демонстрация виртуального плана имплантации формирует ощущение прозрачности лечебного процесса, что снижает тревожность и способствует росту доверия к медицинскому персоналу.

**Роль визуализации в формировании комплаентности.** Особое значение имеет возможность визуальной демонстрации будущего результата. Использование программ 3D-моделирования позволяет показать пациенту предполагаемое положение имплантатов и протетической конструкции ещё до начала лечения. Визуализация конечного результата помогает пациенту лучше понять цели и этапы лечения, согласиться на проведение аугментационных процедур, а также принять более высокую стоимость лечения как оправданную. Таким образом, цифровая визуализация становится важным инструментом повышения мотивации и приверженности пациента к терапии.

**Снижение страха и стрессовых факторов.** Страх перед хирургическим вмешательством остаётся одним из основных препятствий при имплантации. Цифровые технологии позволяют минимизировать инвазивность операции, что воспринимается пациентами как значимое преимущество. Объяснение возможности flapless-хирургии или протокола немедленной нагрузки существенно снижает уровень тревожности, поскольку пациенты понимают, что после операции они быстро восстановят жевательную функцию и эстетику.

**Социокультурные аспекты восприятия.** Исследования показывают, что пациенты различных возрастных групп и социальных слоёв по-разному реагируют на цифровые технологии. Молодые пациенты, ориентированные на инновации, чаще воспринимают цифровую имплантологию как «стандарт будущего» и стремятся выбрать именно такие методы. Пациенты старших возрастных групп иногда относятся настороженно, однако демонстрация наглядных схем и моделей помогает преодолеть скептицизм и повысить комплаентность.

Таким образом, психологическое восприятие пациентами цифровых технологий является важным фактором клинического успеха. Использование инструментов визуализации, повышение уровня доверия и снижение тревожности формируют основу для сотрудничества врача и пациента. Цифровые методы в имплантологии позволяют не только повысить точность лечения, но и улучшить его психологическую составляющую, что в конечном итоге обеспечивает более высокую удовлетворённость и качество жизни пациентов.

## ГЛАВА 6. ОШИБКИ И ОСЛОЖНЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ

Современная цифровая имплантология позиционируется как наиболее точный и предсказуемый метод восстановления зубочелюстной системы, однако, несмотря на очевидные преимущества, она не лишена потенциальных ошибок и осложнений. Следует подчеркнуть, что цифровые технологии сами по себе не исключают возможность погрешностей, а лишь создают условия для их минимизации и стандартизации. Ошибки могут возникать на различных этапах — начиная от сбора диагностических данных и заканчивая хирургическим вмешательством и ортопедическим этапом. Именно поэтому критический анализ факторов риска и осложнений является необходимым условием для совершенствования клинической практики и повышения безопасности пациентов.

### 6.1 Системные и технические ошибки

В первую очередь необходимо рассмотреть системные и технические ошибки, возникающие на уровне оборудования и программного обеспечения. Значительную роль играют **погрешности при выполнении конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ)**. Они могут быть связаны с артефактами от металлических конструкций, микродвижениями пациента во время сканирования, а также ограничением разрешающей способности прибора. Подобные искажения нередко приводят к неточной визуализации костных структур и могут повлиять на точность построенной виртуальной модели.

Следующий источник ошибок — **процесс совмещения диагностических данных**. Совмещение КЛКТ и внутривидеоскопических сканов требует высокой точности алгоритмов сегментации и калибровки. Даже минимальное смещение на уровне десятых долей миллиметра может привести к расхождению виртуальной и реальной анатомии, что впоследствии отразится на положении имплантата.

Отдельного внимания заслуживает **этап изготовления хирургических шаблонов**. Несмотря на то что современные 3D-принтеры обеспечивают

высокую точность печати, риск деформации материала сохраняется: фотополимерные смолы могут изменять геометрию в процессе полимеризации или стерилизации. Кроме того, клиническая точность во многом зависит от качества фиксации шаблона в полости рта. Например, мукозно-опорные конструкции при полной адентии могут давать микроподвижность из-за эластичности слизистой, что снижает общую точность позиционирования.

Важно отметить, что ошибки цифровой имплантологии нередко носят **мультифакторный характер**. К техническим причинам добавляются биологические — изменения состояния тканей между этапом диагностики и операцией (например, атрофия или воспалительные процессы). Также существенную роль играет **человеческий фактор**: недостаточный опыт специалиста в работе с цифровыми программами, ошибочный выбор параметров печати или неточная установка шаблона во рту пациента могут свести на нет преимущества цифровой навигации.

Наконец, системные ошибки могут возникнуть и на **этапе интеграции хирургического и ортопедического планирования**. Несоответствие виртуальной модели будущего протеза фактическому положению имплантатов, даже при минимальных отклонениях, способно привести к проблемам при протезировании: нарушению окклюзии, эстетическим дефектам и дополнительным финансовым затратам.

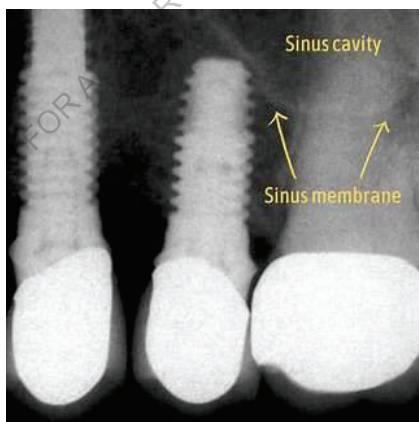
Таким образом, технические ошибки в цифровой имплантологии представляют собой сложный комплекс причин, связанных как с особенностями используемого оборудования, так и с квалификацией специалистов. Их анализ позволяет выработать чёткие алгоритмы контроля качества и снизить вероятность осложнений, что подтверждает необходимость строгого соблюдения протоколов и постоянного обучения персонала.

## 6.2 Клинические осложнения

Несмотря на то, что цифровая имплантология значительно снижает вероятность неблагоприятных исходов, клинические осложнения продолжают встречаться, особенно при нарушении протоколов или наличии анатомически

сложных условий. Ошибки на диагностическом и техническом этапах нередко трансформируются в клинические проблемы во время хирургического вмешательства.

Одним из наиболее частых осложнений является **перфорация кортикальной пластинки или анатомически значимых структур**. Даже при использовании 3D-шаблонов или динамической навигации сохраняется риск выхода сверла за пределы кости, особенно в зоне дна гайморовой пазухи или вблизи нижнечелюстного канала. В литературе описаны случаи повреждения нижнего альвеолярного нерва, сопровождающиеся длительными парестезиями, а также сообщения о перфорациях синуса с развитием гайморита. В большинстве ситуаций подобные осложнения связаны с суммарной технической ошибкой — совмещением диагностических неточностей и клинической погрешности в момент операции. Как видно на рисунке 6.2.1, перфорация синуса может произойти даже при использовании шаблонов.

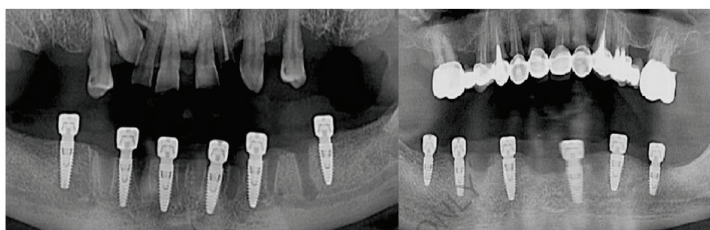


*Рисунок 6.1. Рентген-иллюстрация перфорации мембраны гайморовой пазухи при имплантации*

Вторым распространённым осложнением является **смещение имплантата относительно запланированной позиции**. Данное явление может иметь несколько форм: горизонтальное или вертикальное отклонение, неправильный наклон, а также чрезмерное углубление в костную ткань.

Нарушение пространственного положения имплантата влечёт за собой серьёзные последствия: затруднение протезирования, необходимость повторного хирургического вмешательства, снижение функциональной и эстетической эффективности конструкции. Особенно критично это в переднем отделе верхней челюсти, где даже минимальное отклонение отражается на эстетике улыбки.

На рисунке 6.2.2 показан случай смещения имплантата из первоначальной траектории.



*Рисунок 6.2. Пример горизонтального или вертикального смещения имплантата на рентгеновском снимке*

Клиническую значимость имеет также **несоответствие фактической установки плану виртуального протезирования**. В случаях, когда ортопедическая часть лечения ориентирована на заранее созданный цифровой проект, любое смещение имплантата нарушает протетическую логику и приводит к необходимости адаптации коронок или даже полной переделки конструкции. Это повышает стоимость лечения и снижает доверие пациента к врачу.

Нельзя не отметить и такие осложнения, как **перегрев костной ткани и недостаточная остеоинтеграция имплантата**. При использовании хирургических шаблонов иногда возникает затруднённая ирригация операционного поля, особенно если втулки ограничивают доступ охлаждающего раствора к зоне сверления. Это приводит к перегреву кости и некрозу в области остеотомии, что в долгосрочной перспективе повышает риск несостоятельности имплантата.

Особое место занимают **осложнения раннего и позднего послеоперационного периода**. К ним относятся воспалительные реакции в зоне имплантации, нарушения заживления мягких тканей, формирование несостоятельного прикрепления десны и, в ряде случаев, отторжение имплантата. Несмотря на то что цифровые технологии позволяют минимизировать травматизацию (например, при flapless-хирургии), биологические факторы пациента — курение, сахарный диабет, остеопороз — могут нивелировать преимущества точного планирования.

Таким образом, клинические осложнения цифровой имплантологии представляют собой результат сочетанного влияния технических, биологических и человеческих факторов. Их систематическое изучение и анализ необходимы для формирования протоколов профилактики, повышения безопасности лечения и долгосрочной надёжности имплантатов.

### **Клинические примеры осложнений цифровой имплантологии**

**Клинический случай 1. Ошибка при планировании из-за артефактов КЛКТ.** Пациент 54 лет, полная адентия верхней челюсти. При проведении КЛКТ в области дна гайморовой пазухи наблюдались выраженные артефакты из-за наличия старых металлических конструкций. В процессе виртуального планирования имплантаты были размещены с минимальным зазором до стенки пазухи. Однако при операции выявлено фактическое расхождение, что привело к частичной перфорации синуса и необходимости проведения синус-лифтинга. Анализ показал, что основной причиной осложнения стала недостаточная фильтрация артефактов при обработке КЛКТ-данных. Вывод: даже при использовании цифровых технологий необходима строгая проверка качества исходных диагностических данных.

**Клинический случай 2. Осложнение при использовании хирургического шаблона.** Пациентка 47 лет, множественная адентия нижней челюсти. Операция выполнялась с применением зубо-опорного хирургического шаблона. Несмотря на точное позиционирование, в ходе

сверления возникла проблема с ирригацией из-за ограниченного доступа охлаждающего раствора. Это вызвало локальный перегрев костной ткани, в последующем — замедленную остеоинтеграцию и частичную потерю имплантата через 4 месяца. Анализ показал, что использование массивных шаблонов без должной ирригации повышает риск перегрева. Вывод: необходимо тщательно продумывать протокол охлаждения при работе через направляющие втулки.

**Клинический случай 3. Профилактика осложнения с помощью динамической навигации.** Пациент 62 лет, одиночный дефект в области премоляров нижней челюсти, вблизи нижнечелюстного канала. По данным планирования, расстояние до канала составляло всего 3 мм, что повышало риск его повреждения. Операция была проведена с применением системы динамической навигации, которая позволила в режиме реального времени контролировать глубину и угол сверления. В результате имплантат был установлен с отклонением менее 0,7 мм от плана, повреждения нерва удалось избежать. Вывод: применение динамических систем навигации обеспечивает дополнительный уровень безопасности в анатомически рискованных зонах.

### **6.3 Пути минимизации рисков**

Современная практика цифровой имплантологии убедительно показывает: абсолютное исключение ошибок и осложнений невозможно, однако их частоту и тяжесть можно существенно снизить при условии системного подхода к организации лечебного процесса. Ведущие клиницисты подчёркивают, что профилактика осложнений должна начинаться задолго до хирургического вмешательства и охватывать все этапы — от диагностики до протетической реабилитации.

Прежде всего важнейшую роль играет **качественный сбор и обработка диагностических данных**. Для повышения точности КЛКТ необходимо использование современных томографов с высоким разрешением и минимизацией артефактов, особенно у пациентов с металлическими конструкциями в полости рта. Важно строго контролировать положение

пациента и параметры экспозиции, что позволяет уменьшить риск смещения и искажений. Не менее значимо проведение внутривитрового сканирования с тщательной проработкой всех участков зубного ряда и мягких тканей. Корректное совмещение данных КЛКТ и сканов в программном обеспечении требует применения алгоритмов контроля, в том числе автоматической и ручной верификации совмещённых моделей.

Вторым ключевым направлением профилактики осложнений является **строгая стандартизация этапов цифрового планирования**. Виртуальная установка имплантатов должна проводиться с учётом не только костных и анатомических структур, но и будущей протетической нагрузки. Клиницист обязан оставлять «зоны безопасности» — не менее 2 мм до канала нижнечелюстного нерва и 1–2 мм до дна гайморовой пазухи. Протетически-ориентированное планирование позволяет заранее спрогнозировать расположение коронок и исключить риск несоответствия между хирургическим и ортопедическим этапом.

Отдельного внимания заслуживает **контроль качества при изготовлении хирургических шаблонов**. Наиболее надёжным решением является использование сертифицированных 3D-принтеров и биосовместимых материалов, прошедших клиническую апробацию. Каждое изделие перед использованием должно проверяться на точность прилегания, стабильность фиксации и отсутствие деформаций. При полной адентии рекомендуется дополнительная фиксация шаблонов с помощью остеосинтетических винтов для исключения микродвижений слизистой.

Немаловажное значение имеет и **подготовка операционного этапа**. При работе с шаблонами необходимо тщательно продумывать систему ирригации и охлаждения, чтобы исключить перегрев костной ткани. В динамической навигации ключевым моментом является калибровка датчиков и контроль стабильности маркеров. Перед началом операции хирург обязан иметь «план Б» на случай технического сбоя оборудования: готовность

перейти на традиционную методику или адаптировать хирургический протокол.

Следует подчеркнуть и роль **мультидисциплинарного взаимодействия**. Успех цифровой имплантологии невозможен без тесного сотрудничества хирурга, ортопеда и зубного техника. Согласованность действий команды обеспечивает не только точность установки имплантатов, но и предсказуемость последующего протезирования.

Наконец, важнейшим фактором является **непрерывное обучение и повышение квалификации специалистов**. Даже самая современная техника теряет свою ценность без достаточного опыта работы врача. Регулярное участие в образовательных курсах, мастер-классах и стажировках позволяет снизить количество ошибок, связанных с человеческим фактором, и оптимизировать использование цифровых технологий.

Таким образом, пути минимизации рисков в цифровой имплантологии включают комплекс организационных, технических и клинических мероприятий. Их внедрение в практику обеспечивает максимальную безопасность пациентов, устойчивость результатов и долгосрочный успех имплантационного лечения.

#### **6.4. Классификация осложнений цифровой имплантологии**

С научно-методологической точки зрения, анализ осложнений цифровой имплантологии требует не только их описания, но и строгой систематизации по ключевым этапам клинического протокола. Подобный подход позволяет выявить наиболее уязвимые звенья, определить частоту и клиническую значимость возникающих ошибок, а также наметить конкретные меры профилактики и коррекции.

**1. Диагностические осложнения.** На этапе диагностики ключевыми источниками ошибок являются артефакты КЛКТ (движение пациента, наличие металлических конструкций, некорректные параметры экспозиции), неточности внутриротового сканирования (неполное сканирование дистальных отделов, дефекты при захвате мягких тканей), а также ошибки при

совмещении различных наборов данных. Существенное значение имеют и дефекты сегментации, при которых костные структуры и зубы неправильно интерпретируются программой. Итогом подобных неточностей становится смещение виртуальной модели относительно реальной клинической ситуации. В дальнейшем это отражается на выборе длины, диаметра и позиции имплантата, создавая предпосылки для хирургических и ортопедических осложнений.

**2. Технологические осложнения.** На этапе проектирования и производства хирургических шаблонов также возможно возникновение целого спектра проблем. Они включают деформацию материала при 3D-печати (усадка фотополимерной смолы, неполная полимеризация), неточности при установке направляющих втулок и отклонения при позиционировании шаблона в полости рта. Даже минимальная погрешность (0,5–1 мм) на этом этапе может привести к клинически значимому смещению имплантата, особенно в эстетически критической зоне фронтальных зубов. При полной адентии добавляется риск микроподвижности мукозных шаблонов, что снижает точность вмешательства. Всё это свидетельствует о важности строгого контроля качества на производственных стадиях.

**3. Хирургические осложнения.** Несмотря на применение цифровых технологий, хирургический этап остаётся наиболее подверженным рискам. Наиболее часто встречаются перфорация костной пластинки, повреждение гайморовых пазух или нижнечелюстного канала, перегрев костной ткани при недостаточной ирригации, а также смещение имплантата из-за недостаточной фиксации шаблона. Важным фактором риска остаётся человеческий фактор: ошибки при работе с инструментами, недостаточный контроль силы при сверлении, нарушение правил стерильности. Даже при идеально подготовленном цифровом проекте клинический результат зависит от точности и опыта хирурга.

**4. Ортопедические осложнения.** Заключительный этап имплантологического лечения также подвержен осложнениям, связанным с

неточностью хирургической установки. Несоответствие фактического положения имплантата запланированному ортопедическому решению проявляется в виде некорректного наклона, глубины или ротации имплантата. В результате возникают сложности при протезировании: невозможность использовать стандартные абатменты, необходимость индивидуальной модификации конструкции, нарушение эстетики в зоне улыбки или перегрузка имплантата при жевании. Всё это снижает прогнозируемость результата и долговечность конструкции.

Таблица 2. Типология осложнений цифровой имплантологии и их частота по данным литературы

Этап клинического протокола	Тип осложнения	Частота по литературным данным	Возможные клинические последствия
<b>Диагностический</b>	Артефакты КЛКТ, неточности внутриротового сканирования, ошибки совмещения данных	10–15% случаев	Смещение виртуальной модели, неправильное планирование позиции имплантата
<b>Технологический</b>	Деформация материала при 3D-печати, люфт направляющих втулок, неточная фиксация шаблона	5–8% случаев	Смещение имплантата на 1–2 мм, особенно критично в зоне фронтальных зубов
<b>Хирургический</b>	Перфорация костной пластинки, повреждение гайморовых пазух или нижнечелюстного канала, перегрев кости	3–6% случаев	Воспалительные осложнения, неврологические нарушения, несостоятельность имплантата

Анализ частоты осложнений показывает, что наибольшая доля ошибок связана с диагностическим и ортопедическим этапами. Это подчёркивает необходимость строгого контроля качества КЛКТ и сканирования, а также междисциплинарного взаимодействия хирурга и ортопеда для обеспечения соответствия хирургического и протетического планирования.

## Этапы и осложнения цифровой имплантологии

<b>Диагностический этап</b>	Артефакты КЛКТ, ошибки сканирования, дефекты совмещения
<b>Технологический этап</b>	Деформация 3D-шаблона, люфт втулок, неточная фиксация
<b>Хирургический этап</b>	Перфорация, повреждение нерва или синуса, перегрев кости
<b>Ортопедический этап</b>	Несоответствие протезному плану, эстетические дефекты, перегрузка

*Рисунок 6.3. Этапы клинического протокола и основные осложнения цифровой имплантологии*

Таким образом, классификация осложнений по этапам лечения позволяет систематизировать потенциальные риски, выявить закономерности их возникновения и выработать стратегию профилактики. Подобный подход подчёркивает, что цифровая имплантология не является полностью «безошибочной» технологией, а представляет собой сложный многоуровневый процесс, требующий внимания и точности на каждом из этапов — от диагностики до окончательной протетической реабилитации. В перспективе данная классификация может служить основой для разработки алгоритмов клинического контроля качества и оптимизации образовательных программ для специалистов.

## **ГЛАВА 7. ОГРАНИЧЕНИЯ И РИСКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ**

### **7.1. Диагностические и методологические ограничения цифровых протоколов**

Несмотря на значительный прогресс цифровых методов визуализации и планирования, их применение в дентальной имплантологии имеет ряд принципиальных диагностических и методологических ограничений. Конусно-лучевая компьютерная томография, являясь основным источником анатомических данных, обеспечивает высокое пространственное разрешение костных структур, однако не лишена погрешностей, обусловленных физическими и техническими факторами. Артефакты от металлических реставраций, искажения, связанные с параметрами экспозиции и положением пациента, а также ограничения в визуализации тонких кортикальных структур могут приводить к неточной оценке объёма и качества костной ткани.

Методологическим ограничением цифровых протоколов является статический характер виртуального планирования. Создаваемые цифровые модели представляют собой условную реконструкцию анатомии пациента в фиксированном положении и не отражают динамических изменений, возникающих в ходе хирургического вмешательства. Виртуальные алгоритмы не учитывают биомеханические свойства костной ткани, степень её компрессии при сверлении, а также индивидуальные реакции тканей на хирургическую травму. В результате расхождение между виртуально запланированным положением имплантата и его фактическим размещением может иметь клинически значимые последствия.

Дополнительным ограничением является недостаточная интеграция цифровых данных с клиническим обследованием пациента. Существует риск смещения акцента с клинической оценки на визуальный анализ цифровых моделей, что может приводить к формированию ложной уверенности в точности планирования. В условиях сложных анатомических ситуаций цифровая модель не может полностью заменить клиническое мышление и

хирургический опыт врача, а её некритичное использование повышает вероятность диагностических и тактических ошибок.

## **7.2. Технологические и программные риски навигационной имплантации**

Технологическая основа цифровой имплантологии включает сложный комплекс аппаратных и программных компонентов, каждый из которых может являться источником потенциальных рисков. Процесс интеграции данных конусно-лучевой компьютерной томографии и интраорального сканирования требует высокой точности регистрации и корректной работы программных алгоритмов. Ошибки на этапе совмещения данных могут носить латентный характер и не выявляться визуально при анализе виртуальной модели, однако приводить к систематическому смещению планируемого положения имплантата.

Навигационная имплантация также зависит от точности изготовления хирургических шаблонов. На этапе 3D-печати возможны деформации, связанные с особенностями используемых материалов, параметрами печати и постобработки. Процессы стерилизации могут дополнительно влиять на геометрию шаблонов, снижая точность переноса виртуального плана в клинические условия. Фиксация шаблона в полости рта, особенно при выраженном дефиците опорных зубов или подвижности слизистой оболочки, представляет собой отдельный источник ошибок.

Следует учитывать и ограничения, связанные с программным обеспечением. Обновления программных продуктов, несовместимость форматов данных и различия в алгоритмах расчёта могут затруднять воспроизводимость результатов планирования. Зависимость клинического процесса от конкретных цифровых платформ ограничивает универсальность протоколов и требует постоянного технического сопровождения, что не всегда возможно в условиях повседневной практики.

## **7.3. Человеческий фактор и клинические риски цифровой имплантологии**

Несмотря на высокий уровень автоматизации, цифровые технологии не

исключают влияние человеческого фактора, который остаётся одним из ключевых источников клинических рисков. Уровень подготовки врача, его опыт работы с цифровыми системами и способность критически интерпретировать результаты виртуального планирования оказывают прямое влияние на исход лечения. Недостаточная квалификация в области цифровых технологий может приводить к формальному использованию навигационных систем без глубокого понимания их ограничений.

Особое значение имеет феномен ложной безопасности, при котором навигационная система воспринимается как абсолютная гарантия точности и предсказуемости результата. В таких условиях снижается внимание к интраоперационной оценке анатомических ориентиров и клинической ситуации. Возникновение отклонений от запланированного сценария может приводить к задержке принятия решений и увеличению риска осложнений.

Клинические риски усиливаются при отсутствии чёткого разграничения ответственности между участниками цифрового протокола. Взаимодействие врача, зуботехнической лаборатории и специалистов по цифровому моделированию требует высокой степени координации. Ошибки на любом этапе цифрового рабочего процесса могут иметь кумулятивный эффект и проявляться уже в ходе хирургического вмешательства.

#### **7.4. Организационные, экономические и правовые ограничения**

Внедрение цифровых технологий в дентальную имплантологию сопровождается значительными организационными и экономическими вызовами. Высокая стоимость оборудования, программного обеспечения и расходных материалов ограничивает доступность цифровых протоколов, особенно в условиях амбулаторной практики. Это формирует неравномерность внедрения технологий и может способствовать их использованию вне строгих клинических показаний.

Экономические ограничения дополняются необходимостью постоянного обновления программных продуктов и обучения персонала, что требует дополнительных ресурсов. В условиях недостаточной стандартизации

цифровых протоколов возрастает риск variability клинических результатов и сложности их объективной оценки. Отсутствие единых нормативных документов, регламентирующих применение навигационной имплантации, усложняет внедрение цифровых технологий на уровне системы здравоохранения.

Правовые аспекты цифровой имплантологии остаются недостаточно разработанными. В случае осложнений или расхождения между планируемым и фактическим результатом возникают вопросы распределения ответственности между врачом и техническими исполнителями цифрового протокола. Недостаточная правовая определённость требует особого внимания к ведению медицинской документации, информированному согласию пациента и фиксации всех этапов цифрового планирования.

Таким образом, применение цифровых технологий в дентальной имплантологии, обладая высоким потенциалом повышения точности и предсказуемости лечения, сопровождается комплексом диагностических, технологических, клинических, организационных и правовых ограничений. Их осознание и системный анализ являются необходимым условием рационального использования цифровых протоколов и формирования сбалансированного подхода к навигационной имплантации. Критическая оценка существующих рисков позволяет не только минимизировать вероятность осложнений, но и определить направления дальнейшего совершенствования цифровых технологий, что логично подводит к рассмотрению перспектив их развития.

## **ГЛАВА 8. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

Развитие цифровых технологий в дентальной имплантологии обусловило необходимость пересмотра традиционных подходов к планированию, выполнению и оценке хирургического лечения. На современном этапе цифровая имплантология представляет собой не просто совокупность технологических решений, а целостную клинико-методологическую систему, эффективность которой определяется корректностью показаний, качеством реализации цифровых протоколов и объективной оценкой клинических результатов. В условиях активного внедрения навигационной хирургии и 3D-шаблонов особую актуальность приобретает формирование методологических и практических основ их применения, направленных на повышение предсказуемости лечения и снижение риска осложнений.

### **8.1. Клинические показания и противопоказания к применению цифровых технологий в дентальной имплантологии**

Рациональное применение цифровых технологий в дентальной имплантологии предполагает чёткое разграничение клинических ситуаций, в которых использование навигационной хирургии и цифрового планирования является методологически обоснованным, и случаев, где данные технологии не обеспечивают значимых преимуществ по сравнению с традиционными подходами. В условиях активного внедрения цифровых решений особую актуальность приобретает формирование клинических показаний и противопоказаний, позволяющих избежать неоправданного расширения применения цифровой имплантации и связанных с этим рисков.

К числу клинических показаний к применению цифровых технологий относятся ситуации, требующие высокой точности пространственного позиционирования имплантатов с учётом анатомических ограничений и ортопедического этапа лечения. Цифровая имплантация особенно обоснована при ограниченном объёме костной ткани, близости анатомически значимых структур, таких как верхнечелюстной синус и нижнечелюстной канал, а также

при необходимости реализации ортопедически ориентированного планирования. В данных клинических условиях цифровые протоколы позволяют интегрировать диагностический, хирургический и ортопедический этапы лечения в единую концепцию, направленную на достижение предсказуемого функционального и эстетического результата.

Абсолютные показания к применению цифровых технологий формируются при необходимости высокой воспроизводимости хирургического вмешательства и минимизации интраоперационных рисков. К таким ситуациям относятся множественные и тотальные имплантации, лечение пациентов с полной адентией, а также случаи, предполагающие немедленную нагрузку имплантатов. В этих условиях навигационная хирургия и использование 3D-шаблонов позволяют снизить травматичность вмешательства, сократить продолжительность операции и обеспечить точное соответствие между виртуальным планом и клинической реализацией.

Относительные показания включают клинические ситуации, при которых цифровые технологии могут повысить удобство и предсказуемость лечения, однако не являются строго необходимыми. К ним относятся имплантации в зонах с достаточным объёмом костной ткани и благоприятной анатомией, где традиционные методы имплантации при наличии соответствующего клинического опыта обеспечивают сопоставимые результаты. В таких случаях применение цифровых протоколов должно рассматриваться с учётом экономической целесообразности и индивидуальных особенностей пациента.

Вместе с тем существует ряд клинических ситуаций, в которых применение цифровой имплантации не обеспечивает значимых преимуществ. При простых клинических условиях, отсутствии анатомических рисков и стандартном ортопедическом плане использование навигационных технологий может приводить лишь к усложнению лечебного процесса без улучшения клинического исхода. В этих случаях неоправданное применение цифровых протоколов может повышать стоимость лечения и создавать дополнительные организационные трудности.

Противопоказания к применению цифровых технологий могут быть обусловлены как локальными, так и общими факторами. К локальным ограничениям относятся выраженная подвижность слизистой оболочки, невозможность надёжной фиксации хирургического шаблона, ограниченное открывание рта и анатомические особенности, препятствующие корректной установке навигационных устройств. Кроме того, невозможность получения качественных диагностических данных, в том числе вследствие выраженных артефактов при КЛКТ, является существенным ограничением для виртуального планирования.

Особого внимания заслуживают ограничения, связанные с соматическим статусом пациента. Тяжёлая сопутствующая патология, нарушения регенеративных процессов, выраженные метаболические и сосудистые расстройства могут снижать прогностическую ценность цифрового планирования, поскольку биологический ответ тканей в таких условиях становится менее предсказуемым. В данных клинических ситуациях цифровые технологии не компенсируют системные факторы риска и не должны рассматриваться как средство их нивелирования.

Таким образом, применение цифровых технологий в дентальной имплантологии должно основываться на чётком понимании клинических показаний и противопоказаний. Цифровая имплантация является эффективным инструментом при решении сложных клинических задач, однако её использование должно носить дифференцированный характер и дополнять, а не заменять клиническое мышление и индивидуальный подход к пациенту. Формирование обоснованных критериев отбора пациентов является необходимым условием безопасной и эффективной интеграции цифровых технологий в современную имплантологическую практику.

## **8.2. Критерии оценки эффективности цифровых протоколов**

Оценка эффективности цифровых протоколов в дентальной имплантологии представляет собой многоуровневый методологический процесс, направленный на объективное сопоставление запланированных и фактически

достигнутых клинических результатов. В отличие от традиционных методов имплантации, где эффективность нередко оценивается преимущественно по клиническому исходу и отсутствию осложнений, цифровая имплантология требует более комплексного подхода, учитывающего точность планирования, воспроизводимость хирургического этапа и соответствие ортопедическому замыслу лечения.

Одним из ключевых критериев эффективности цифровых протоколов является точность позиционирования имплантатов относительно виртуально запланированного положения. Данный показатель отражает способность цифровой системы корректно переносить результаты виртуального моделирования в клинические условия и является количественным выражением качества навигационного протокола. Анализ отклонений по линейным и угловым параметрам позволяет объективно оценивать влияние диагностических, технологических и человеческих факторов на конечный результат лечения.

Не менее значимым критерием эффективности является безопасность применения цифровых технологий, которая определяется частотой и характером интра- и послеоперационных осложнений. К числу таких осложнений относятся повреждение анатомически значимых структур, несоответствие фактического положения имплантата ортопедическому плану, а также необходимость интраоперационной коррекции тактики вмешательства. При корректной реализации цифровых протоколов отмечается тенденция к снижению числа подобных осложнений, однако данный эффект напрямую зависит от уровня подготовки клинициста и соблюдения методологических принципов цифрового планирования.

Важным аспектом оценки эффективности цифровых протоколов является анализ ортопедических результатов лечения. Точность установки имплантатов определяет возможность изготовления ортопедических конструкций без дополнительных корректировок, снижает нагрузку на имплантаты и способствует формированию оптимальных окклюзионных и

эстетических параметров. Соответствие ортопедического результата виртуальному плану свидетельствует о высокой степени интеграции хирургического и ортопедического этапов лечения, что является одним из ключевых преимуществ цифровой имплантологии.

Эффективность цифровых протоколов должна оцениваться также с позиции функциональных и долгосрочных клинических исходов. Стабильность имплантатов, сохранность периимплантных тканей и прогнозируемость ортопедических конструкций в отдалённые сроки наблюдения отражают не только точность хирургического этапа, но и адекватность принятого лечебного решения в целом. В этом контексте цифровые технологии рассматриваются как инструмент повышения предсказуемости лечения, а не как самостоятельный критерий его успешности.

Дополнительным критерием эффективности является удовлетворённость пациента, которая формируется под влиянием множества факторов, включая инвазивность вмешательства, продолжительность лечения, субъективный комфорт и эстетический результат. Цифровые протоколы, позволяя сократить хирургическую травму и повысить точность лечения, в ряде случаев способствуют повышению уровня доверия пациента и его удовлетворённости результатами имплантации. Однако данный показатель должен рассматриваться в совокупности с клиническими и функциональными критериями, а не изолированно.

С методологической точки зрения эффективность цифровых протоколов определяется также их воспроизводимостью в условиях повседневной клинической практики. Возможность достижения сопоставимых результатов при использовании одинаковых протоколов различными специалистами свидетельствует о зрелости технологии и степени её стандартизации. В этом контексте оценка эффективности выходит за рамки индивидуального клинического случая и приобретает значение для формирования клинических рекомендаций и протоколов лечения.

Критерии оценки эффективности цифровых протоколов в дентальной

имплантологии должны носить комплексный характер и включать анализ точности позиционирования, безопасности, ортопедических и функциональных результатов, а также воспроизводимости и удовлетворённости пациентов. Такой подход позволяет объективно оценивать роль цифровых технологий в современной имплантологической практике и формировать обоснованные показания к их применению.

### **8.3. Стандартизация и протоколизация цифровой имплантологии**

Стандартизация и протоколизация цифровой имплантологии на современном этапе её развития приобретают ключевое значение, поскольку именно отсутствие единых методологических подходов остаётся одним из основных ограничивающих факторов широкого и безопасного внедрения цифровых технологий в клиническую практику. Несмотря на активное использование цифровых методов диагностики, планирования и навигационной хирургии, существующие протоколы характеризуются значительной вариабельностью, обусловленной различиями в программных платформах, аппаратных решениях и индивидуальных клинических подходах специалистов.

В условиях отсутствия унифицированных стандартов цифровая имплантология в значительной степени зависит от субъективного опыта врача и особенностей локальной организации лечебного процесса. Различия в алгоритмах получения и обработки диагностических данных, подходах к виртуальному планированию и методах переноса цифрового плана в клинические условия затрудняют сопоставление результатов лечения и формирование воспроизводимых клинических рекомендаций. Это обстоятельство ограничивает возможности объективной оценки эффективности цифровых протоколов и препятствует их интеграции в систему доказательной медицины.

Протоколизация цифровой имплантологии предполагает регламентацию всех этапов лечебного процесса, начиная с первичного обследования пациента и заканчивая ортопедической реабилитацией. Особое значение имеет стандартизация диагностического этапа, включающего требования к качеству

конусно-лучевой компьютерной томографии, параметрам интраорального сканирования и условиям получения исходных данных. Несоблюдение этих требований приводит к снижению достоверности виртуального планирования и увеличивает риск ошибок на последующих этапах лечения.

Не менее важным аспектом стандартизации является унификация принципов виртуального планирования имплантации. Определение обязательных параметров анализа, включая оценку объёма и качества костной ткани, топографии анатомически значимых структур и ортопедических ориентиров, позволяет снизить влияние субъективных факторов и повысить воспроизводимость цифровых решений. В рамках протоколированного подхода виртуальное планирование рассматривается не как изолированный этап, а как часть интегрированного клинико-ортопедического процесса.

Стандартизация хирургического этапа цифровой имплантологии включает регламентацию требований к изготовлению и использованию хирургических шаблонов, принципов их фиксации и контроля точности позиционирования имплантатов. Чёткое описание допустимых отклонений, критериев качества и условий интраоперационного контроля способствует снижению частоты технических и клинических ошибок. В условиях протоколированного подхода навигационная хирургия становится инструментом повышения клинической безопасности, а не источником дополнительного риска.

Особое значение протоколизация цифровой имплантологии имеет с точки зрения междисциплинарного взаимодействия. Цифровой рабочий процесс предполагает участие нескольких специалистов, включая хирурга-стоматолога, ортопеда, врача лучевой диагностики и зуботехническую лабораторию. Наличие единых стандартов и протоколов обеспечивает согласованность действий всех участников лечебного процесса и снижает вероятность ошибок, связанных с нарушением коммуникации и передачи информации.

Существенным аспектом стандартизации является также формирование единых критериев оценки результатов цифровой имплантации.

Протоколизованный подход позволяет объективно анализировать точность позиционирования имплантатов, частоту осложнений, функциональные и ортопедические исходы лечения, а также долгосрочную стабильность результатов. Это создаёт предпосылки для накопления сопоставимых клинических данных и формирования доказательной базы цифровой имплантологии.

Таким образом, стандартизация и протоколизация цифровой имплантологии являются необходимым условием её устойчивого развития и безопасного внедрения в клиническую практику. Формирование единых методологических принципов позволяет снизить вариабельность результатов, повысить воспроизводимость лечения и создать основу для разработки клинических рекомендаций. В перспективе протоколизация цифровых технологий будет способствовать интеграции цифровой имплантологии в систему стандартизированной медицинской помощи и обеспечит её соответствие требованиям современной доказательной медицины.

## **ГЛАВА 9. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В последние годы цифровая имплантология демонстрирует не только стремительное развитие, но и выход на принципиально новый уровень, связанный с интеграцией искусственного интеллекта, роботизированных технологий и биоинженерных решений. Эти направления формируют основу так называемой «имплантологии будущего», в которой клинические решения будут приниматься с учётом колоссальных массивов данных, а хирургические протоколы станут ещё более стандартизированными и предсказуемыми. Подобные тенденции открывают перед стоматологической практикой уникальные возможности, позволяя выйти за рамки традиционных представлений о возможностях реабилитации зубочелюстной системы.

### **9.1 Искусственный интеллект и машинное обучение в планировании имплантации**

Одним из наиболее значимых трендов цифровой медицины в целом и имплантологии в частности является внедрение искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения. Уже сегодня специализированные алгоритмы способны автоматически распознавать анатомические структуры на данных конусно-лучевой компьютерной томографии, классифицировать плотность костной ткани и прогнозировать вероятность осложнений при имплантации. Такая автоматизация позволяет существенно ускорить процесс диагностики и планирования, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить более высокую воспроизводимость результатов.

Ключевым преимуществом машинного обучения является способность алгоритмов **самообучаться на больших массивах данных**, что делает их гибкими и адаптивными к новым клиническим ситуациям. В частности, системы поддержки принятия решений могут предлагать врачу несколько вариантов расположения имплантатов с учётом биомеханических характеристик костной ткани, эстетических требований и особенностей будущего протезирования. В отличие от традиционного планирования, где

конечный результат во многом зависит от субъективного опыта специалиста, ИИ обеспечивает высокий уровень стандартизации и позволяет объективизировать процесс.

В перспективе развитие технологий глубокого обучения и больших данных позволит создавать **самонастраивающиеся программные комплексы**, которые будут учитывать клинический опыт тысяч операций. Такие системы смогут предлагать наиболее безопасные и эффективные сценарии лечения для конкретного пациента, формируя тем самым максимально персонализированный подход.

Кроме того, ИИ открывает новые горизонты и в области образования: современные симуляционные платформы с элементами виртуальной и дополненной реальности могут использовать алгоритмы машинного обучения для адаптации учебных сценариев под уровень подготовки врача. Это создаёт предпосылки для формирования нового стандарта профессионального обучения и сертификации специалистов.

Однако следует подчеркнуть, что интеграция искусственного интеллекта в имплантологию сопровождается и рядом **ограничений и вызовов**. Прежде всего речь идёт о необходимости клинической валидации алгоритмов и доказательства их надёжности в реальной практике. Кроме того, актуальными остаются вопросы защиты персональных данных пациентов, а также юридической ответственности за возможные ошибки алгоритмов. Таким образом, внедрение ИИ в имплантологию требует взвешенного подхода, который сочетает инновации с клинической безопасностью и соблюдением этических стандартов.

## 9.2 Роботизированная имплантология

Не менее перспективным направлением в рамках цифровой трансформации современной стоматологии является внедрение роботизированных систем в дентальную хирургию. Исторически первые эксперименты с роботами в медицине были связаны с ортопедией и нейрохирургией, где требовалась предельная точность манипуляций. На этом

фоне развитие роботизированной имплантологии стало логичным шагом: клинические примеры последних лет убедительно показали, что такие системы способны обеспечивать точность позиционирования дентальных имплантатов, сопоставимую или даже превосходящую показатели навигационных технологий.

Принцип работы роботизированных комплексов основан на интеграции данных трёхмерной диагностики (КЛКТ, внутривитальное сканирование) с управляемыми манипуляторами, которые выполняют сверление костной ткани и установку имплантата под контролем хирурга. При этом робот не действует полностью автономно: он работает в режиме «совместного участия», где врач задаёт параметры операции и контролирует её ход, а система обеспечивает механическую точность и воспроизводимость. Важным преимуществом является наличие систем обратной связи, позволяющих адаптировать действия робота к изменениям операционного поля в реальном времени.

Клинические публикации последних лет подчёркивают, что роботизированные технологии способны существенно снизить частоту осложнений за счёт исключения человеческого фактора, особенно в условиях ограниченного операционного доступа и сложной анатомии. Более того, такие системы позволяют минимизировать утомляемость хирурга при длительных операциях, что также положительно отражается на конечных результатах лечения.

Тем не менее, широкое внедрение роботизированной имплантологии связано с рядом вызовов. В первую очередь речь идёт о высокой стоимости оборудования и необходимости его регулярного технического обслуживания. Дополнительным барьером является потребность в специальном обучении специалистов, так как управление роботизированными системами требует новых навыков. Важным остаётся и нормативно-правовое регулирование: вопросы юридической ответственности при осложнениях пока не имеют однозначного решения. Кроме того, клиническая доказательная база пока

ограничена отдельными исследованиями, что требует проведения многоцентровых рандомизированных испытаний.

Перспективы развития роботизированной имплантологии связаны с дальнейшей интеграцией искусственного интеллекта и машинного обучения. В будущем можно прогнозировать появление систем с высокой степенью автономности, способных не только выполнять заранее запрограммированные действия, но и адаптироваться к клиническим ситуациям. Не исключается и развитие телехирургии, когда опытные специалисты смогут управлять роботизированными установками дистанционно, обеспечивая доступ пациентов из отдалённых регионов к высокотехнологичной помощи.

Таким образом, роботизированная имплантология по праву рассматривается как следующий этап цифровой революции в стоматологии, сочетающий в себе точность, автоматизацию и расширение функциональных возможностей хирурга. Её внедрение способно изменить парадигму хирургического вмешательства, приблизив стоматологию к новой эпохе высокотехнологичных персонализированных решений.

### **9.3 Персонализированные имплантаты, печать костных графтов и тканей**

Ещё одним ключевым направлением будущего развития цифровой имплантологии является биоинженерия и персонализированное протезирование. В последние годы в стоматологии наметился устойчивый переход от использования стандартных конструкций к созданию индивидуализированных имплантатов, проектируемых на основе данных КЛКТ и внутривитрового сканирования. Современные CAD/CAM-системы и технологии 3D-печати позволяют изготавливать конструкции, которые идеально соответствуют анатомическим особенностям конкретного пациента. В отличие от унифицированных систем, такие имплантаты обеспечивают оптимальное прилегание к костной ткани, учитывают её морфологию и биомеханические параметры, что повышает первичную стабильность и ускоряет процессы остеоинтеграции. Дополнительным преимуществом

является улучшение эстетических результатов, особенно в зоне улыбки, где индивидуальная геометрия имеет решающее значение.

Персонализированные конструкции могут изготавливаться из различных материалов. Наибольшее распространение получили титановые сплавы и цирконий, отличающиеся высокой биосовместимостью и прочностью. Перспективным направлением является создание биополимерных и композитных имплантатов, которые позволяют варьировать механические свойства и приближать их к характеристикам естественной костной ткани. Дополнительно исследуются остеокондуктивные покрытия и технологии модификации поверхности (наноструктурирование, биоактивные слои), способствующие более быстрой интеграции имплантата с костной тканью.

Особое внимание в современных исследованиях уделяется разработке технологий **печати костных графтов и тканей**. В отличие от традиционных аутогенных и аллогенных трансплантатов, которые ограничены по объёму и сопряжены с дополнительными хирургическими рисками, биопечатные конструкции создаются искусственно и могут быть индивидуализированы под конкретный дефект. Использование биосовместимых матриц и остеогенных клеток открывает новые перспективы для восстановления утраченных участков костной ткани без необходимости забора костного материала у пациента. В экспериментальных условиях уже получены образцы костных структур с сохранением архитектоники и прочностных характеристик, что свидетельствует о реальной клинической перспективе их применения.

Важным направлением дальнейших разработок является **создание комплексных тканеинженерных решений**, включающих в себя не только костные элементы, но и сосудистую, а в перспективе — нервную сеть. Это позволит не просто восполнять объём кости, но и обеспечивать полноценную её функциональность, создавая условия для долгосрочной стабильности имплантатов. Современные протоколы регенеративной медицины уже предусматривают сочетание биопечатных материалов с факторами роста и

стволовыми клетками, что значительно расширяет возможности восстановления сложных дефектов.

Несмотря на очевидные перспективы, внедрение персонализированных имплантатов и биопечатных костных графтов сопряжено с рядом трудностей. К ним относятся высокая стоимость технологий, необходимость стандартизации производственных процессов, вопросы сертификации и этического регулирования, а также ограниченность долгосрочных клинических данных. Однако ожидается, что с развитием аддитивных технологий, удешевлением производства и накоплением клинического опыта эти барьеры будут постепенно преодолены.

#### **9.4. Будущее и инновации в цифровой имплантологии**

Современное развитие цифровой имплантологии не ограничивается лишь совершенствованием диагностических и хирургических технологий. Всё более очевидным становится тренд к интеграции с новыми областями знаний — биотехнологией, наномедициной, инженерией материалов и телемедициной. Эти направления формируют фундамент для так называемой «имплантологии будущего», в которой ключевое место займут персонализация, предиктивная аналитика и регенеративные подходы.

#### **Биотехнологии и наноматериалы.**

Одним из наиболее перспективных направлений является использование биоинженерных решений и нанотехнологий для повышения эффективности остеоинтеграции. Современные исследования показывают, что модификация поверхности имплантатов наноструктурированными покрытиями (например, нанопористый титан или наногидроксиапатит) стимулирует пролиферацию остеобластов и ускоряет процесс формирования костной ткани. Появляются имплантаты с биоактивными покрытиями, высвобождающими ионы кальция и фосфора или факторы роста, что повышает качество регенерации. В долгосрочной перспективе подобные инновации позволят значительно снизить риск несостоятельности имплантатов и улучшить прогнозы при сложных клинических ситуациях.

### **Смарт-имплантаты и сенсорные технологии.**

Следующий этап развития связан с концепцией «умных имплантатов» (smart implants). Речь идёт о конструкциях, оснащённых микросенсорами и чипами, которые способны в реальном времени регистрировать параметры нагрузки, уровень остеоинтеграции, локальные биохимические изменения. Такие системы открывают возможность телеметрического мониторинга за состоянием имплантата без необходимости инвазивных процедур. Врач сможет получать объективные данные о процессе заживления и вовремя реагировать на осложнения, такие как перегрузка, воспаление или начальная стадия периимплантита.

### **Телемедицина и удалённое планирование.**

Особую актуальность приобретает интеграция цифровой имплантологии с телемедициной. Уже сегодня виртуальные планы лечения могут создаваться в специализированных центрах и передаваться в региональные клиники, где они реализуются с помощью хирургических 3D-шаблонов или роботизированных систем. Такой подход обеспечивает равномерный доступ пациентов к высокотехнологичной помощи, снижает зависимость от уровня подготовки местных специалистов и позволяет стандартизировать протоколы лечения. В будущем развитие облачных платформ и защищённых каналов передачи данных создаст основу для глобальной сетевой стоматологии, где опыт ведущих экспертов будет доступен в любой точке мира.

### **Интеграция с регенеративной медициной.**

Не менее перспективным является сочетание цифровых технологий с методами тканевой инженерии. Биопечать костных графтов, использование стволовых клеток и факторов роста в совокупности со смарт-имплантатами открывают путь к созданию комплексных регенеративных решений. Такой подход позволит не просто замещать утраченные зубы, но и восстанавливать полноценную структуру и функцию зубочелюстной системы.

Таким образом, будущее цифровой имплантологии связано с переходом от традиционной протетической парадигмы к высокоточной и регенеративной стоматологии. Сочетание биотехнологий, наноматериалов, смарт-имплантатов и телемедицинских решений формирует новую философию лечения, в которой ключевыми принципами становятся персонализация, безопасность и долгосрочная функциональная эффективность.

Таким образом, развитие персонализированных имплантатов и биопечатных костных графтов является одним из наиболее перспективных направлений цифровой имплантологии. Эти инновации позволяют не только повысить точность и прогнозируемость лечения, но и фактически изменить философию стоматологической реабилитации, сделав её максимально индивидуализированной и регенеративной. В совокупности с искусственным интеллектом и роботизированной хирургией данные технологии формируют новую парадигму стоматологии будущего — высокоточную, персонализированную и ориентированную на восстановление полноценной функции зубочелюстной системы.

## **ГЛАВА 10. МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ**

Современная цифровая имплантология развивается в русле глобальных трансформаций медицины, где ключевым фактором становится не только внедрение инновационных технологий, но и их междисциплинарная интеграция. В условиях постоянного усложнения клинических случаев цифровые протоколы находят применение не только в рамках классической имплантологии, но и на стыке с ортодонтией, челюстно-лицевой хирургией, протетикой, а также смежными областями медицины. При этом возрастают требования к правовому регулированию, защите персональных данных и этическим стандартам, обеспечивающим безопасность пациента.

### **10.1 Цифровая имплантология и ортодонтия**

Интеграция цифровой имплантологии и ортодонтии обусловлена необходимостью комплексного подхода к лечению пациентов с адентией и деформациями зубочелюстной системы. Современные цифровые протоколы позволяют заранее моделировать не только установку имплантатов, но и ортодонтические перемещения зубов, создавая оптимальные условия для последующей реабилитации.

Использование КЛКТ и внутриротового сканирования даёт возможность формировать виртуальные 3D-модели, где врач-ортодонт и имплантолог совместно определяют стратегию лечения. Особенно это важно в случаях, когда требуется создание пространства для имплантации путём ортодонтического перемещения зубов. Цифровые протоколы позволяют спрогнозировать сроки, оценить стабильность полученного результата и минимизировать риск осложнений.

Таким образом, цифровая имплантология становится инструментом, обеспечивающим **ортодонтически ориентированное протезирование**, где конечная цель лечения определяется не только восстановлением дефекта, но и гармонизацией окклюзии, эстетики и функциональности.

## **10.2 Цифровая имплантология и челюстно-лицевая хирургия**

Взаимодействие цифровой имплантологии и челюстно-лицевой хирургии особенно актуально при лечении пациентов с выраженными дефектами костной ткани, травмами и послеоперационными деформациями. Применение цифровых технологий в таких случаях позволяет перейти от традиционных субъективных методов к высокоточной реконструктивной хирургии.

Навигационная хирургия и 3D-шаблоны играют ключевую роль при реконструкции челюстей с использованием костных трансплантатов и регенеративных методик. Дополнительно, развитие технологий биопечати и CAD/CAM обеспечивает возможность изготовления индивидуальных костных графтов и реконструктивных пластин. Это сокращает время операции, повышает точность адаптации трансплантата и уменьшает риск осложнений.

Таким образом, цифровые технологии становятся основой для **комбинированных хирургических протоколов**, где челюстно-лицевая хирургия и имплантология действуют как единая система, ориентированная на восстановление анатомии и функции пациента.

## **10.3 Медико-правовые и этические вопросы применения цифровых технологий**

Стремительное развитие цифровой имплантологии сопровождается новыми вызовами в области медицинского права и биоэтики. В первую очередь это касается вопросов юридической ответственности за результаты лечения при использовании ИИ и роботизированных систем. Кто несёт ответственность за осложнение — врач, производитель оборудования или разработчик программного обеспечения? Ответ на этот вопрос требует комплексного правового регулирования.

Не менее актуальной является проблема защиты персональных данных. Современные цифровые протоколы подразумевают использование КЛКТ, внутривидеоскопии и других конфиденциальных данных, которые нередко

хранятся на облачных платформах. Это ставит перед специалистами задачу соблюдения международных стандартов безопасности (GDPR, HIPAA) и внедрения локальных регламентов хранения и передачи информации.

Этические аспекты затрагивают и саму природу взаимодействия врача и технологий. В условиях, когда алгоритмы ИИ могут предлагать оптимальное решение, важно подчеркнуть, что конечное решение остаётся за клиницистом. Таким образом, цифровая имплантология требует переосмысления роли врача: он становится не только исполнителем, но и **оператором интеллектуальной системы**, сохраняя при этом ответственность за здоровье пациента.

#### **10.4 Перспективы интеграции и междисциплинарного взаимодействия**

Перспективы цифровой имплантологии неразрывно связаны с формированием мультидисциплинарного подхода. Будущее стоматологии заключается в создании специализированных центров, где имплантологи, ортодонты, челюстно-лицевые хирурги, инженеры и специалисты по ИИ будут работать совместно. Такой формат позволит реализовывать сложнейшие проекты — от регенерации костной ткани до установки роботизированных имплантатов с немедленной нагрузкой.

Дополнительно, развитие междисциплинарного взаимодействия потребует пересмотра образовательных стандартов. Уже сегодня внедряются программы, включающие изучение цифровых протоколов, CAD/CAM-систем, 3D-печати и основ медицинской робототехники. Подготовка специалистов нового поколения станет ключевым фактором успешного внедрения цифровых технологий в повседневную практику.

Таблица 3. Междисциплинарные направления интеграции цифровой имплантологии

Направление	Роль цифровых технологий	Практические примеры	Перспективы развития
<b>Ортодонтия</b>	Виртуальное моделирование перемещений зубов, создание пространства для имплантатов	Совмещение КЛКТ и 3D-сканов; планирование ортодонтно-имплантационных протоколов	Автоматизированные системы планирования «ортодонтия + имплантация»
<b>Челюстно-лицевая хирургия</b>	3D-шаблоны и навигация при реконструктивных операциях; индивидуальные трансплантаты	CAD/CAM пластины, биопечатные костные графты	Комплексные протоколы регенеративной хирургии, включающие сосудистую и нервную интеграцию
<b>Медико-правовое регулирование</b>	Стандартизация цифровых протоколов, защита персональных данных	Внедрение международных стандартов (GDPR, HIPAA)	Создание единых правовых норм для применения ИИ и роботизированных систем
<b>Этика и биоэтика</b>	Ответственность врача при использовании ИИ, баланс «человек алгоритм»	Системы поддержки решений, оставляющие контроль за клиницистом	Формирование этических кодексов цифровой медицины
<b>Образование и наука</b>	Обучение работе с CAD/CAM, 3D-печатью, ИИ	Междисциплинарные учебные курсы и стажировки	Подготовка нового поколения специалистов цифровой стоматологии

Междисциплинарные перспективы и этические вопросы цифровой имплантологии демонстрируют, что данное направление выходит далеко за рамки узкоспециализированной дисциплины. Оно становится частью комплексной системы современной медицины, где технологии интегрируются в клинические, правовые и образовательные процессы. Именно сочетание высокоточной цифровой хирургии, междисциплинарного взаимодействия и строгих этических стандартов определяет будущее имплантологии как науки и клинической практики.

## **ГЛАВА 11. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И ФИЛОСОФИЯ ЦИФРОВОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ**

Развитие цифровых технологий в дентальной имплантологии привело не только к изменению технических аспектов диагностики и лечения, но и к трансформации самой логики клинического мышления. На современном этапе цифровая имплантология представляет собой не набор изолированных инструментов, а целостную концепцию планирования и реализации лечения, основанную на интеграции хирургических, ортопедических и диагностических решений. В этой связи возникает необходимость концептуального осмысления цифровой имплантологии как методологической системы, определяющей принципы принятия клинических решений и границы применения технологических инноваций.

### **11.1. Протетически ориентированная имплантология как методологическая основа цифровых протоколов**

Протетически ориентированная имплантология является фундаментальным методологическим принципом, на котором базируется современная цифровая имплантация. В отличие от традиционного подхода, при котором имплантация рассматривалась преимущественно как хирургическая процедура, протетически ориентированная концепция исходит из приоритета конечного ортопедического результата. В рамках данного подхода позиционирование имплантатов определяется не только анатомическими условиями, но и требованиями к функциональной нагрузке, эстетике и долговечности ортопедической конструкции.

Цифровые технологии создают предпосылки для практической реализации протетически ориентированной имплантологии, поскольку позволяют интегрировать данные диагностики, виртуального моделирования и ортопедического планирования в единый цифровой рабочий процесс. Виртуальное моделирование будущей ортопедической конструкции становится отправной точкой для определения оптимального положения имплантатов, что принципиально меняет последовательность принятия

клинических решений. Таким образом, хирургический этап перестаёт быть автономным и подчиняется логике ортопедического результата.

Методологическая значимость протетически ориентированного подхода в условиях цифровой имплантологии заключается в повышении предсказуемости лечения и снижении вероятности компромиссных решений на ортопедическом этапе. Вместе с тем данный подход требует высокого уровня клинического мышления и междисциплинарного взаимодействия, поскольку виртуальное планирование должно учитывать как анатомические ограничения, так и биомеханические особенности будущей ортопедической конструкции. В этом контексте цифровые технологии выступают не самоцелью, а инструментом реализации методологической концепции протетически ориентированной имплантологии.

## **11.2. Цифровая имплантология как система принятия клинических решений**

Цифровая имплантология на современном этапе развития может рассматриваться как система поддержки и структурирования клинического мышления, а не только как совокупность технических средств. Использование цифровых протоколов изменяет характер принятия клинических решений, переводя его из эмпирической плоскости в аналитическую. Виртуальное планирование позволяет врачу моделировать различные сценарии лечения, оценивать потенциальные риски и прогнозировать исходы до начала хирургического вмешательства.

В рамках цифровой имплантологии клиническое решение формируется на основе комплексного анализа данных, включающего результаты лучевой диагностики, цифровых слепков, виртуальной реконструкции челюстей и ортопедического моделирования. Такой подход способствует более осознанному выбору тактики лечения и снижает зависимость результата от интраоперационных импровизаций. Цифровая имплантология, таким образом, формирует новую модель клинического мышления, ориентированную на планирование, прогнозирование и контроль.

В то же время следует подчеркнуть, что цифровые технологии не заменяют клиническое мышление врача, а лишь трансформируют его форму. Принятие решений в цифровой имплантологии по-прежнему требует интерпретации данных, оценки биологических факторов и учёта индивидуальных особенностей пациента. Ошибки на этапе анализа и интерпретации цифровых данных могут иметь не менее серьёзные последствия, чем технические ошибки при традиционной имплантации. Следовательно, цифровая имплантология должна рассматриваться как система поддержки принятия решений, а не как автономный алгоритм лечения.

### **11.3. Ограничения технологического детерминизма в стоматологии**

Активное внедрение цифровых технологий в клиническую практику сопровождается риском формирования технологического детерминизма, при котором технологические возможности начинают восприниматься как определяющий фактор клинического успеха. В стоматологии, и в частности в имплантологии, подобный подход может приводить к переоценке роли цифровых инструментов и недооценке биологических, клинических и человеческих факторов.

Технологический детерминизм проявляется в стремлении рассматривать цифровые протоколы как универсальное решение, способное нивелировать анатомические ограничения, соматические факторы риска и индивидуальные особенности пациента. Однако клиническая практика демонстрирует, что даже при высокой точности цифрового планирования биологическая реакция тканей остаётся вариабельной и не поддаётся полной алгоритмизации. В этом контексте цифровые технологии не устраняют неопределённость клинического исхода, а лишь смещают акценты в процессе планирования и контроля.

Философско-методологическое ограничение технологического детерминизма заключается в необходимости сохранения приоритета клинического мышления и ответственности врача за принимаемые решения.

Цифровые технологии должны рассматриваться как инструмент расширения возможностей врача, а не как замена его профессиональной компетенции. Критическое отношение к цифровым протоколам и осознание их ограничений является необходимым условием безопасного и эффективного применения цифровой имплантологии.

Цифровая имплантология представляет собой не только технологическое, но и концептуальное явление, требующее осмысления на методологическом и философском уровнях. Протетически ориентированный подход, аналитическая модель принятия клинических решений и критическое отношение к технологическому детерминизму формируют основу рационального применения цифровых технологий в имплантологии. Такое понимание цифровой имплантологии позволяет интегрировать инновационные технологии в клиническую практику без утраты приоритета клинического мышления и ответственности врача, создавая условия для устойчивого и безопасного развития данной области.

FOR AUTHOR USE ONLY

## **ГЛАВА 12. ДОКАЗАТЕЛЬНОСТЬ И КЛИНИЧЕСКАЯ ВАЛИДАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОТОКОЛОВ**

Активное внедрение цифровых технологий в дентальную имплантологию сопровождалось значительным ростом числа научных публикаций, посвящённых оценке их эффективности, безопасности и клинической целесообразности. Вместе с тем, высокая технологическая сложность цифровых протоколов, вариабельность программного обеспечения и зависимость результатов от человеческого фактора обуславливают необходимость критического анализа уровня доказательности и клинической валидности получаемых данных. На современном этапе цифровая имплантология требует не только технологического совершенствования, но и строгого соответствия принципам доказательной медицины, что предполагает анализ методов получения данных, их воспроизводимости и корректной клинической интерпретации.

### **12.1. Уровни доказательности в цифровой имплантологии**

Оценка эффективности цифровых протоколов в дентальной имплантологии основывается на данных исследований различного методологического уровня, каждый из которых обладает собственными возможностями и ограничениями. Рандомизированные контролируемые исследования рассматриваются как наиболее высокий уровень доказательности, однако их проведение в области цифровой имплантологии сопряжено с существенными трудностями. Этические аспекты, быстрое обновление технологий и сложность стандартизации цифровых рабочих процессов ограничивают возможность строгого рандомизированного сравнения цифровых и традиционных методик в долгосрочной перспективе.

Значительное место в формировании доказательной базы занимают когортные и проспективные наблюдательные исследования, позволяющие оценивать клинические исходы цифровой имплантации в реальных условиях практики. Данные исследования предоставляют ценную информацию о точности позиционирования имплантатов, частоте осложнений и

функциональных результатах лечения, однако их интерпретация требует учёта возможных систематических ошибок и влияния факторов отбора пациентов.

Широко представлены исследования *in vitro* и экспериментальные модели, направленные на оценку точности навигационных систем и хирургических шаблонов. Такие исследования позволяют количественно анализировать отклонения между виртуально запланированным и фактическим положением имплантатов в стандартизированных условиях. Несмотря на высокую точность измерений, результаты *in vitro* исследований не всегда полностью отражают клиническую реальность, поскольку не учитывают биологические факторы и вариабельность анатомических условий.

Отдельную группу составляют исследования, основанные на CAD-симуляциях и компьютерном моделировании. Эти работы имеют важное значение для разработки и оптимизации цифровых алгоритмов, однако их доказательная ценность ограничена отсутствием клинической валидации. Таким образом, доказательная база цифровой имплантологии формируется на основе совокупности данных различных уровней, требующих комплексного и критического анализа.

## **12.2. Проблема воспроизводимости цифровых исследований**

Одной из ключевых методологических проблем цифровой имплантологии является ограниченная воспроизводимость результатов научных исследований. В отличие от традиционных хирургических методик, цифровые протоколы включают множество переменных, связанных с программным обеспечением, аппаратными решениями и индивидуальными навыками специалистов. Использование различных платформ цифрового планирования, навигационных систем и методов изготовления хирургических шаблонов затрудняет прямое сопоставление результатов исследований, выполненных в разных клинических и научных центрах.

Воспроизводимость результатов существенно зависит от выбора программного обеспечения и алгоритмов обработки данных. Различия в

методах слияния КЛКТ-данных и интраоральных сканов, расчёта траектории имплантата и моделирования хирургического вмешательства могут приводить к вариабельности результатов даже при идентичных исходных данных. Дополнительным фактором является использование различных технологий 3D-печати и материалов для изготовления хирургических шаблонов, что также влияет на точность переноса цифрового плана.

Не менее значимым фактором является человеческий компонент. Опыт врача, уровень его подготовки в области цифровых технологий и степень соблюдения протоколов оказывают существенное влияние на клинический результат. В ряде исследований различия в точности навигационной имплантации обусловлены не столько технологическими параметрами, сколько индивидуальными особенностями выполнения процедуры. Это обстоятельство подчёркивает необходимость стандартизации цифровых протоколов и унификации методологии научных исследований.

Таким образом, проблема воспроизводимости ограничивает возможность прямой экстраполяции результатов отдельных исследований на широкую клиническую практику. Для повышения валидности данных требуется унификация протоколов, чёткое описание методологии и учёт всех факторов, влияющих на конечный результат.

### **12.3. Клиническая интерпретация статистических данных**

Корректная клиническая интерпретация статистических данных является одним из наиболее сложных и одновременно наиболее значимых аспектов оценки эффективности цифровых протоколов. Статистически значимые различия между цифровыми и традиционными методами имплантации не всегда имеют клиническую значимость и требуют осмысления в контексте конкретных клинических условий. Небольшие отклонения в точности позиционирования имплантатов, выявляемые при статистическом анализе, могут не оказывать существенного влияния на функциональный и ортопедический результат лечения.

Особое внимание следует уделять интерпретации показателей точности,

представленных в виде линейных и угловых отклонений. В клинической практике значение имеют не абсолютные числовые показатели, а их влияние на безопасность вмешательства, ортопедический этап и долгосрочный прогноз. Переоценка статистических различий без анализа их клинической значимости может приводить к необоснованным выводам о превосходстве цифровых технологий.

Дополнительной проблемой является вариабельность используемых конечных точек в исследованиях цифровой имплантологии. Различия в критериях оценки успеха, длительности наблюдения и методах статистической обработки данных затрудняют сопоставление результатов и формирование единых выводов. В этой связи особое значение приобретает использование комплексных показателей эффективности, включающих клинические, функциональные и субъективные параметры.

Доказательность и клиническая валидность цифровых протоколов в дентальной имплантологии формируются на основе данных различных уровней, каждый из которых имеет свои методологические ограничения. Ограниченная воспроизводимость исследований и сложности интерпретации статистических данных требуют критического подхода к оценке эффективности цифровых технологий. Формирование стандартизированных методологических принципов и унифицированных критериев оценки является необходимым условием интеграции цифровой имплантологии в систему доказательной медицины и её дальнейшего развития.

## **Заключение**

Цифровые технологии в дентальной имплантологии за последние десятилетия совершили качественный скачок, обеспечив переход от эмпирических методов и опыта отдельного хирурга к стандартизированным, воспроизводимым и прогнозируемым протоколам лечения. Внедрение конусно-лучевой компьютерной томографии, систем виртуального планирования, навигационной хирургии и хирургических 3D-шаблонов позволило значительно повысить точность позиционирования имплантатов, минимизировать риски осложнений и обеспечить пациентам высокий уровень эстетических и функциональных результатов.

Проведённый в монографии анализ показал, что цифровые технологии обладают значительным потенциалом в повышении функциональных и эстетических результатов лечения, особенно в клинически сложных ситуациях, связанных с анатомическими ограничениями, множественными имплантациями и протетически ориентированным планированием. Навигационная хирургия и трёхмерные шаблоны позволяют снизить инвазивность вмешательств, оптимизировать хирургический доступ и расширить возможности немедленной нагрузки, тем самым способствуя улучшению качества жизни пациентов.

Вместе с тем установлено, что цифровая имплантология не является универсальным решением и требует дифференцированного подхода. Анализ ошибок, осложнений и рисков показал, что, несмотря на высокий уровень технологической точности, погрешности возможны на всех этапах цифрового рабочего процесса — от диагностики и виртуального планирования до хирургической реализации и ортопедической реабилитации. Существенное влияние сохраняют человеческий фактор, качество исходных данных и соблюдение клинических протоколов, что подчёркивает необходимость критического и методологически обоснованного применения цифровых технологий.

Особое значение в работе уделено формированию клинических

показаний и противопоказаний к использованию цифровых протоколов, а также определению ситуаций, в которых их применение является методологически нецелесообразным. Показано, что при простых анатомических условиях и стандартных ортопедических решениях традиционные методы имплантации могут обеспечивать сопоставимые клинические результаты без дополнительных технологических и экономических затрат. Это подтверждает необходимость индивидуального выбора метода лечения, основанного на клинической целесообразности, а не на технологической доступности.

Важным результатом монографии является анализ доказательности и клинической валидации цифровых протоколов. Отмечено, что доказательная база цифровой имплантологии формируется на основе исследований различного методологического уровня, включая клинические наблюдения, экспериментальные модели и компьютерные симуляции. Ограниченная воспроизводимость результатов, вариабельность программного обеспечения и сложности клинической интерпретации статистических данных требуют стандартизации протоколов и унификации критериев оценки эффективности.

Перспективы развития цифровой имплантологии связаны с интеграцией искусственного интеллекта и машинного обучения, автоматизирующих анализ диагностических данных и поддержку клинических решений. Роботизированные системы демонстрируют потенциал сверхточного позиционирования имплантатов, снижая зависимость результата от человеческого фактора. Персонализированные имплантаты, аддитивные технологии и биопечать костных графтов формируют предпосылки для дальнейшей индивидуализации лечения и развития регенеративной стоматологии.

В долгосрочной перспективе особую роль будут играть биотехнологии, наноматериалы и смарт-имплантаты с биоактивными покрытиями и встроенными сенсорами, обеспечивающими мониторинг остеоинтеграции и раннее выявление осложнений. Интеграция цифровой имплантологии с телемедицинскими платформами и дистанционным планированием создаёт основу для расширения

доступа пациентов к высокотехнологичной стоматологической помощи.

Таким образом, цифровая имплантология трансформируется из технологии восстановления отдельных дефектов в полноценную междисциплинарную систему, объединяющую хирургию, протетику, биоинженерию и цифровую медицину. Эта эволюция знаменует собой переход от классической протетической парадигмы к философии **высокоточной, персонализированной и регенеративной стоматологии будущего.**

FOR AUTHOR USE ONLY

## **Практические рекомендации**

### **Этап диагностики**

Использовать конусно-лучевую компьютерную томографию (КЛКТ) как обязательный стандарт диагностики при планировании имплантации, особенно в анатомически сложных случаях.

Обеспечивать совмещение данных КЛКТ и внутриротового сканирования для формирования максимально точной виртуальной модели челюстно-лицевой области.

Контролировать качество полученных изображений и исключать артефакты, так как они могут стать источником ошибок на последующих этапах.

### **Этап планирования**

Проводить виртуальную установку имплантатов с учётом протетически-ориентированного подхода: изначально исходить из положения будущих реставраций.

Соблюдать безопасные зоны: не менее 2 мм до канала нижнечелюстного нерва и 1–2 мм до дна гайморовой пазухи.

Использовать специализированные программы (NobelClinician, coDiagnostiX, Blue Sky Plan и др.) для прогнозирования исхода лечения и оценки рисков.

### **Изготовление хирургических шаблонов**

Применять сертифицированные CAD/CAM-технологии и 3D-печать с использованием биосовместимых материалов.

Проверять точность прилегания и стабильность фиксации шаблонов до начала хирургического вмешательства.

При полной адентии рекомендовать фиксацию шаблонов остеосинтетическими винтами для повышения точности.

### **Хирургический этап**

При работе с шаблонами обеспечивать адекватное охлаждение зоны сверления для предотвращения перегрева кости.

Рассматривать возможность flapless-хирургии при использовании навигационных протоколов для снижения инвазивности и ускорения заживления.

При динамической навигации уделять особое внимание калибровке сенсоров и контролю стабильности маркеров.

### **Ортопедический этап**

Осуществлять постоянную связь между хирургом и ортопедом для согласования виртуального протезного плана и фактической установки имплантатов.

При выявлении несоответствия положения имплантатов корректировать ортопедический протокол с учётом сохранения функциональности и эстетики.

### **Минимизация рисков и осложнений**

Систематически анализировать ошибки и осложнения в клинике, внедряя внутренние протоколы контроля качества.

Поддерживать высокий уровень подготовки специалистов: регулярные курсы, стажировки, освоение новых цифровых технологий.

При внедрении новых систем (роботизированных или ИИ-платформ) проводить этап адаптации с постепенным расширением показаний.

### **Будущее и инновации**

Рассматривать возможность использования смарт-имплантатов и наноструктурированных покрытий в клинической практике по мере их доступности.

Внедрять телемедицинские сервисы для дистанционного планирования и консультирования пациентов, особенно в условиях удалённых регионов.

Следить за развитием технологий 3D-биопечати костных графтов и тканей как перспективного направления регенеративной стоматологии.

## Список использованной литературы

1. Misch C.E. Dental Implant Prosthetics. — 2nd ed. — St. Louis: Elsevier, 2015. — 1104 p.
2. Buser D., Sennerby L., De Bruyn H. Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions. *Periodontology 2000*. — 2017. — Vol. 73(1). — P. 7–21.
3. Jung R.E., Zembic A., Pjetursson B.E., Zwahlen M., Thoma D.S. Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years. *Clin Oral Implants Res*. — 2012. — Vol. 23 (Suppl. 6). — P. 2–21.
4. Tahmaseb A., Wismeijer D., Coucke W., Derksen W. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants*. — 2014. — Vol. 29 (Suppl). — P. 25–42.
5. Block M.S., Emery R.W. Static or dynamic navigation for implant placement—choosing the method of guidance. *J Oral Maxillofac Surg*. — 2016. — Vol. 74(2). — P. 269–277.
6. D'haese J., Ackhurst J., Wismeijer D., De Bruyn H., Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontology 2000*.— 2017. — Vol. 73(1). — P. 121–133.
7. Raico Gallardo Y.N., da Silva-Olivio I.R., Mukai E., Morimoto S., Sesma N. Accuracy of computer-guided surgery for dental implant placement: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. — 2017. — Vol. 21(4). — P. 1345–1356.
8. Di Giacomo G.A., Cury P.R., de Araujo N.S., Sendyk W.R., Sendyk C.L. Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: preliminary results. *J Periodontol*. — 2005. — Vol. 76(4). — P. 503–507.

9. Fortin T., Champleboux G., Lormée J., Coudert J.L. Precise dental implant placement in bone using surgical guides in conjunction with medical imaging techniques. *J Oral Implantol.* — 2000. — Vol. 26(4). — P. 300–303.
10. Vercruyssen M., Cox C., Coucke W., Naert I., Jacobs R., Quirynen M. A randomized clinical trial comparing guided implant surgery (bone- or mucosa-supported) with conventional implant placement: a 3-year follow-up study. *Clin Oral Implants Res.* — 2015. — Vol. 26(3). — P. 308–314.
11. Chugh A., Narwal A., Yadav H., Chugh V.K. Static vs. dynamic computer-assisted implant surgery: A narrative review. *J Indian Prosthodont Soc.* — 2021. — Vol. 21(3). — P. 229–239.
12. Wismeijer D., Flügge T., Van der Meer W.J., Vissink A. Applications of digital dentistry in implant prosthodontics: A systematic review of the literature. *Int J Prosthodont.* — 2014. — Vol. 27(3). — P. 214–226.
13. Joda T., Ferrari M., Gallucci G.O., Wittneben J.G., Brägger U. Digital technology in fixed implant prosthodontics. *Periodontology 2000.* — 2017. — Vol. 73(1). — P. 178–192.
14. Emekli U., Ozden Y., Arisan V., Topkaya T. Accuracy of flapless implant placement using stereolithographic guides. *Implant Dent.* — 2011. — Vol. 20(3). — P. 157–163.
15. Arisan V., Karabuda C.Z., Ozdemir T. Accuracy of two stereolithographic guide systems for computer-aided implant placement: a computed tomography-based clinical comparative study. *J Periodontol.* — 2010. — Vol. 81(1). — P. 43–51.
16. Alzoubi F., Kasugai S., Keyhan S.O., Rokaya D., Shahadat H., Zafar M.S. Advances in Guided Dental Implant Surgery: A Review. *Materials (Basel).* — 2020. — Vol. 13(2). — P. 327.
17. Yeung M., Abdulmajeed A., Carrico C.K., Deeb G.R., Bencharit S. Accuracy and precision of 3D-printed implant surgical guides with different implant systems: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* — 2020. — Vol. 123(2). — P. 231–237.

18. Choi B., Jeong S.M., Huh J.B. Recent trends of digital implantology. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg.* — 2019. — Vol. 45(1). — P. 1–7.
19. Flügge T., Nelson K., Schmelzeisen R., Metzger M.C. Three-dimensional accuracy of implant placement: The effect of application technique and implant system. *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2013. — Vol. 28(3). — P. 634–643.
20. Lim J., Shin H.S., Cho S.A. Accuracy of dental implant placement using a navigation system, a laboratory guide, and freehand drilling. *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2018. — Vol. 33(2). — P. 216–222.

FOR AUTHOR USE ONLY

## Содержания

Введение.....	3
ГЛАВА 1. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И РАЗВИТИЕ ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ.....	6
1.1. Классические подходы к имплантации .....	6
1.2. Эволюция диагностических и хирургических методик.....	7
1.3. Появление CAD/CAM-технологий и их роль в стоматологии.....	8
ГЛАВА 2. ЦИФРОВАЯ ДИАГНОСТИКА В ИМПЛАНТОЛОГИИ.....	11
2.1. Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ).....	13
2.2. Цифровое планирование: специализированные программы (NobelClinician, coDiagnostiX, Blue Sky Plan и др.).....	15
2.3. Виртуальная реконструкция челюстей и моделирование имплантатов.....	17
ГЛАВА 3. НАВИГАЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ .....	18
3.1. Понятие статической и динамической навигации.....	18
3.2. Компьютерно-навигационные системы: принципы работы.....	20
3.3. Преимущества и ограничения навигационной имплантации.....	22
3.4. Клинические примеры навигационного позиционирования имплантатов.....	24
ГЛАВА 4. 3D-ШАБЛОНЫ В ИМПЛАНТОЛОГИИ .....	29
4.1. Методика изготовления хирургических шаблонов: от цифрового сканирования до печати.....	29
4.2. Виды шаблонов: опорные, мукозные, костные, комбинированные. ....	32
4.3. Точность позиционирования имплантатов при использовании шаблонов.....	36
4.4. Сравнение 3D-шаблонов с традиционными методами.....	38
ГЛАВА 5. КЛИНИЧЕСКИЕ И ХИРУРГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	42
5.1. Планирование в сложных клинических случаях (узкая альвеолярная дуга, близость синуса, нижнечелюстного нерва).....	42
5.2. Навигационная хирургия при множественных и единичных имплантациях.....	43
5.3. Применение 3D-шаблонов у пациентов с полной адентией.....	44
5.4. Сравнительные клинические исследования традиционной и цифровой имплантации.....	47
5.5. Экономические аспекты применения цифровых технологий в имплантологии.....	49
5.6. Психологическое восприятие цифровых технологий пациентами.....	51

ГЛАВА 6. ОШИБКИ И ОСЛОЖНЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ.....	53
6.1. Системные и технические ошибки .....	53
6.2. Клинические осложнения (перфорация, смещение имплантата, несоответствие плану).....	55
6.3. Пути минимизации рисков.....	58
6.4. Классификация осложнений цифровой имплантологии.....	60
ГЛАВА 7. ОГРАНИЧЕНИЯ И РИСКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ.....	64
7.1. Диагностические и методологические ограничения цифровых протоколов.....	64
7.2. Технологические и программные риски навигационной имплантации.....	65
7.3. Человеческий фактор и клинические риски цифровой имплантологии.....	66
7.4. Организационные, экономические и правовые ограничения	
ГЛАВА 8. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ.....	68
8.1. Клинические показания и противопоказания к применению цифровых технологий.....	68
8.2. Критерии оценки эффективности цифровых протоколов.....	70
8.3. Стандартизация и протоколизация цифровой имплантологии.....	73
ГЛАВА 9. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	76
9.1. Искусственный интеллект и машинное обучение в планировании имплантации.....	76
9.2. Роботизированная имплантология.....	77
9.3. Персонализированные имплантаты, печать костных графтов и тканей.....	79
9.4. Будущее и инновации в цифровой имплантологии.....	81
ГЛАВА 10. МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ.....	84
10.1. Цифровая имплантология и ортодонтия.....	84
10.2. Цифровая имплантология и челюстно-лицевая хирургия.....	85
10.3. Медико-правовые и этические вопросы применения цифровых технологий.....	85
10.4. Перспективы интеграции и междисциплинарного взаимодействия.....	86
ГЛАВА 11. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И ФИЛОСОФИЯ ЦИФРОВОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ.....	88

11.1. Протетически ориентированная имплантология как методологическая основа цифровых протоколов.....	88
11.2. Цифровая имплантология как система принятия клинических решений.....	89
11.3. Ограничения технологического детерминизма в стоматологии.....	90
<b>ГЛАВА 12. ДОКАЗАТЕЛЬНОСТЬ И КЛИНИЧЕСКАЯ ВАЛИДАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОТОКОЛОВ.....</b>	<b>92</b>
12.1. Уровни доказательности в цифровой имплантологии.....	92
12.2. Проблема воспроизводимости цифровых исследований.....	93
12.3. Клиническая интерпретация статистических данных .....	94
Заключение.....	96
Практические рекомендации.....	99
Список литературы.....	101

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**More  
Books!**



yes  
**I want morebooks!**

Buy your books fast and straightforward online - at one of world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at  
**[www.morebooks.shop](http://www.morebooks.shop)**

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов! окружающей среде благодаря технологии Печати-на-Заказ.

Покупайте Ваши книги на  
**[www.morebooks.shop](http://www.morebooks.shop)**



[info@omniscryptum.com](mailto:info@omniscryptum.com)  
[www.omniscryptum.com](http://www.omniscryptum.com)

OMNIScriptum



FOR AUTHOR USE ONLY