

УДК: 616.716-001.5-089:616-006.04-089.843:616-08-039.73:004.94
**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ И АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПАТОЛОГИЧЕСКОМ ПЕРЕЛОМЕ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ НА ФОНЕ
МИОНЧ [клинический случай]**

*Ризаев Жасур Алимжанович – ректор Самаркандского государственного
медицинского университета, д.м.н., профессор*

*Зайнутдинов Муродилло Омонуллаевич - PhD, старший преподаватель кафедры
челюстно-лицевой хирургии Ташкентского государственного медицинского
университета*

Аннотация. Использование анатомических моделей, хирургических направляющих и шаблонов повышает точность оперативных вмешательств и сокращает их продолжительность. Применение технологий AP₁/AP₂ и 3D-прототипирования обеспечивает создание высокоточных моделей для планирования операций в челюстно-лицевой области. Представлен клинический случай патологического перелома тела нижней челюсти на фоне медикаментозно-индуцированного остеонекроза челюстей [МИОНЧ] III стадии. На основе данных компьютерной томографии с тонкими срезами были созданы виртуальные модели, позволившие выполнить предоперационное планирование и хирургическое вмешательство, включающее секвестрэктомию, дебридмент, репозицию и стабилизацию перелома. 3D-модель использована для моделирования титановой реконструкционной пластины. Полученные результаты подтвердили высокую точность планирования, соответствие анатомическим структурам, стабильность положения мышечка и сокращение времени операции.

Таким образом, виртуальная хирургия и 3D-прототипирование являются перспективными методами, повышающими точность вмешательства, снижая риски и улучшая клинические исходы при МИОНЧ.

Ключевые слова: AP₁/AP₂, 3D-печать, МИОНЧ, остеонекроз челюсти, переломы, виртуальная хирургия, моделирование

Annotatsiya. Anatomik modellar, jarrohlik yo'naltirgichlar va shablonlardan foydalanish operativ aralashuvlarning aniqligini oshiradi hamda ularning davomiyligini qisqartiradi. CAD/CAM texnologiyalari va 3D-prototiplash qo'llanilishi jag'-yuz sohasida operatsiyalarni rejalashtirish uchun yuqori aniqlikdagi modellarni yaratish imkonini beradi. Mazkur ishda dori vositalari bilan bog'liq jag' osteonekrozi [MIONCh] III bosqichi fonida pastki jag' tanasining patologik sinishi bilan kechgan klinik holat keltirilgan. Yupqa kesimli kompyuter tomografiyasi ma'lumotlari asosida virtual modellar yaratilib, ular yordamida sekvestrektomiya, nekrotik to'qimalarni debridment qilish, repozitsiya va sinishni stabilizatsiya qilishni o'z ichiga olgan jarrohlik aralashuvi rejalashtirildi. 3D-model titan rekonstruktiv plastinani operatsiyadan oldin modellashtirishda qo'llanildi. Olingan natijalar rejalashtirishning yuqori aniqligini, anatomik tuzilmalarga mosligini, bo'g'im boshchasing barqaror holatini hamda operatsiya vaqtining qisqarishini tasdiqladi.

Shunday qilib, virtual jarrohlik va 3D-prototiplash MIONChda aralashuv aniqligini oshiruvchi, xavflarni kamaytiruvchi va klinik natijalarni yaxshilovchi istiqbolli usullar hisoblanadi.

Kalit so'zlar: AP₁/AP₂, 3D-chiqarish, MIONCh, jag' osteonekrozi, sinishlar, virtual jarrohlik, modellashtirish

Abstract. The use of anatomical models, surgical guides, and templates improves the accuracy of surgical interventions and reduces their duration. The application of CAD/CAM

technologies and 3D prototyping enables the creation of highly precise models for planning maxillofacial surgeries. This paper presents a clinical case of a pathological fracture of the mandibular body associated with medication-related osteonecrosis of the jaws [MRONJ] stage III. Based on thin-slice computed tomography data, virtual models were created, allowing for preoperative planning and surgical intervention, including sequestrectomy, debridement of necrotic tissue, reduction, and stabilization of the fracture. The 3D model was used for preoperative modeling of a titanium reconstruction plate. The obtained results confirmed high planning accuracy, conformity to anatomical structures, stable condylar position, and reduced operative time.

Thus, virtual surgery and 3D prototyping represent promising methods that enhance surgical precision, reduce risks, and improve clinical outcomes in MRONJ.

Keywords: CAD/CAM, 3D printing, MRONJ, jaw osteonecrosis, fractures, virtual surgery, modeling

Введение. Рекомендации по лечению медикаментозно-индуцированного остеонекроза челюстей (МИОНЧ) в последние десятилетия претерпели значительную эволюцию [1–5]. Подходы к лечению МИОНЧ условно подразделяются на консервативные и хирургические. Первые рекомендации American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons (AAOMS) акцентировали внимание на консервативной терапии, направленной на устранение симптомов и избегание инвазивных вмешательств у соматически отягощённых пациентов.

Консервативное лечение включает контроль бактериальной среды с использованием антибиотиков широкого спектра действия, таких как амоксициллин/клавулановая кислота и метронидазол, а также применение антисептиков полости рта (например, хлоргексидина). Неинвазивные методы, включая озонотерапию, лазерную терапию и гипербарическую оксигенацию, могут дополнять антибактериальную терапию, однако их эффективность остаётся недостаточно доказанной. В целом консервативная терапия направлена на контроль инфекции и подготовку пациента к возможному хирургическому лечению, однако в настоящее время всё большее значение приобретают более активные хирургические вмешательства, обеспечивающие лучшие клинические результаты.

Хирургическое лечение МИОНЧ эволюционировало от применения исключительно на поздних стадиях до использования даже у отдельных пациентов с I стадией заболевания. Обновлённые рекомендации AAOMS (2022) согласуются с другими международными руководствами и подчёркивают, что МИОНЧ представляет собой локализованную патологию костной ткани. Адекватное удаление поражённой кости способствует разрешению заболевания, улучшению качества жизни пациентов и увеличению выживаемости на 10% через два года после постановки диагноза. Хирургические вмешательства классифицируются в зависимости от объёма резекции некротизированной кости и удаления потенциальных очагов инфекции с достижением жизнеспособных краёв и полноценного заживления мягких тканей [6, 7].

В эпоху цифровых технологий и персонализированной медицины методы автоматизированного проектирования и производства (АП₁/АП₂) в челюстно-лицевой травматологии и онкологии стали стандартом [8]. Несмотря на то, что в настоящее время не существует универсального малоинвазивного метода лечения МИОНЧ, позволяющего одновременно обеспечить радикальность вмешательства и учитывать хрупкость данной категории пациентов, целью настоящего клинического наблюдения является описание случая МИОНЧ III стадии, пролеченного с использованием полного цифрового протокола

- виртуального хирургического планирования и применения предварительно изогнутой реконструкционной пластины на основе 3D-печатной модели.

Описание клинического случая. От всех участников было получено письменное информированное согласие. Пациентка 69 лет обратилась в отделение неотложной помощи клиники Ташкентского государственного медицинского университета с жалобами на выраженную боль и отёк в правой половине нижней челюсти. При клиническом осмотре отмечалась частичная адентия нижних зубных рядов, обнажение костной ткани в области четвёртого квадранта, а также наличие орально-кожного свища в правой гемимандибулярном сегменте нижней челюсти (рис. 1А, В).

Из анамнеза известно, что пациентка в течение 10 лет принимала препарат Denosumab по поводу остеопороза. Также отмечались сопутствующие заболевания: неконтролируемый сахарный диабет 2 типа, требующий инсулинотерапии, и деменция.

Проведённая компьютерная томография (КТ) с тонкими срезами выявила обширный секвестр в правой половине нижней челюсти с патологическим переломом тела нижней челюсти на той же стороне, что позволило установить диагноз МИОНЧ III стадии (рис. 1С, D). После этого пациентка была переведена в отделение челюстно-лицевой хирургии для дальнейшего лечения.

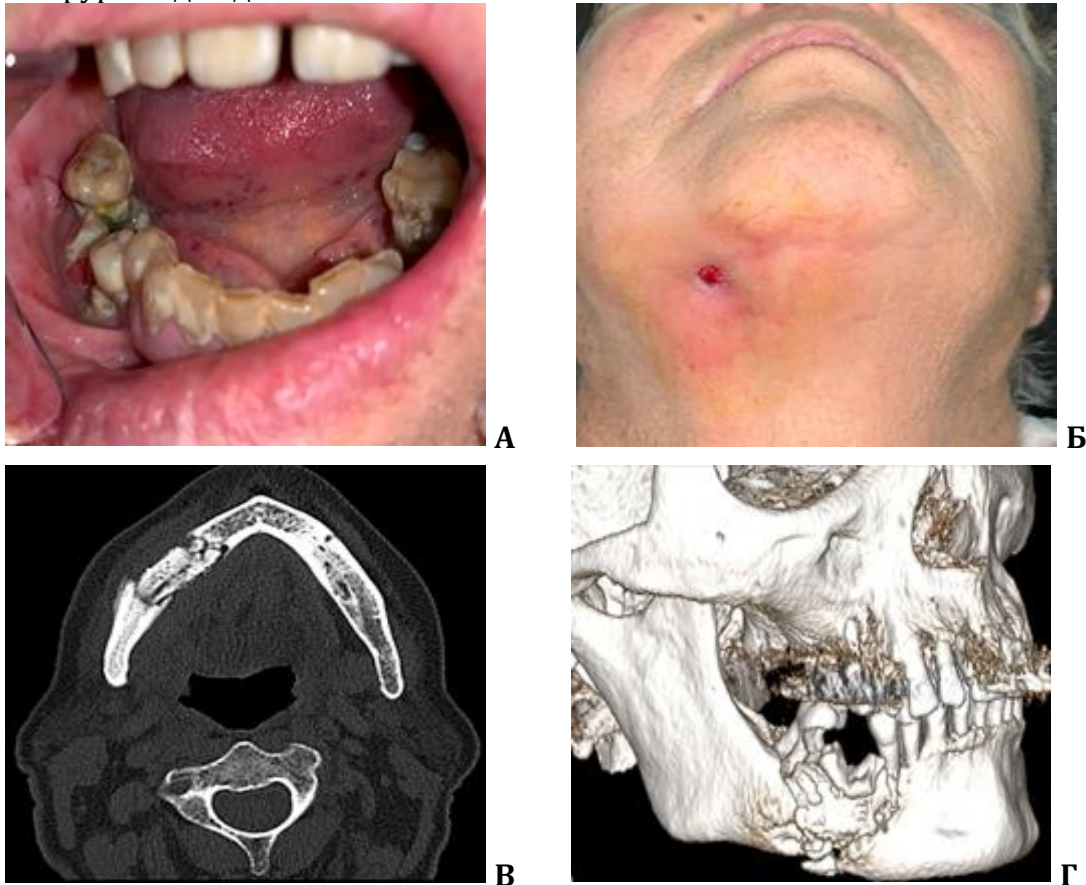


Рисунок 1. Клиническое обследование пациентки и предоперационная компьютерная томография: А - интраоральный вид; Б - подбородочно-вершинная проекция; В - аксиальная проекция; Г - 3D-реконструкция.

С момента поступления была начата внутривенная антибактериальная терапия, включающая амоксициллин/клавулановую кислоту в дозе 1,75 г/250 мг и метронидазол 1,5 г в сутки, а также полоскания полости рта раствором хлоргексидина 0,2%. Данная терапия проводилась до оперативного вмешательства, в течение госпитализации (7 дней), а также продолжалась амбулаторно на протяжении 15 дней.

Трёхмерная виртуальная модель нижней челюсти была создана на основе DICOM-данных компьютерной томографии с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом 3D-Slicer [9].

Затем на данной модели было выполнено виртуальное хирургическое вмешательство. Сегментация костной ткани проводилась методом пороговой обработки в модуле Segment Editor с выделением нижней челюсти. Под контролем КТ-срезов была выполнена виртуальная секвестрэктомия и дебридмент некротизированной костной ткани с использованием функции Cut, с акцентом на выявление секвестров, изменений трабекулярной структуры, участков остеосклероза, эрозий и микролакун. В результате были сформированы модели культей нижней челюсти.

Для восстановления дуги нижней челюсти были применены трансформации с целью репозиции перелома. Опорная плоскость, созданная в модуле Markup, определялась тремя точками, касающимися нижнего края ветви и симфиза здоровой левой культы нижней челюсти с учётом положения мышелка в суставной ямке. Затем правая культя нижней челюсти была ротирована и перемещена в правильное положение с использованием модуля Transform (рис. 2. А, В). В завершение, для обеспечения стабильности при 3D-печати дефект правой половины нижней челюсти был замкнут.

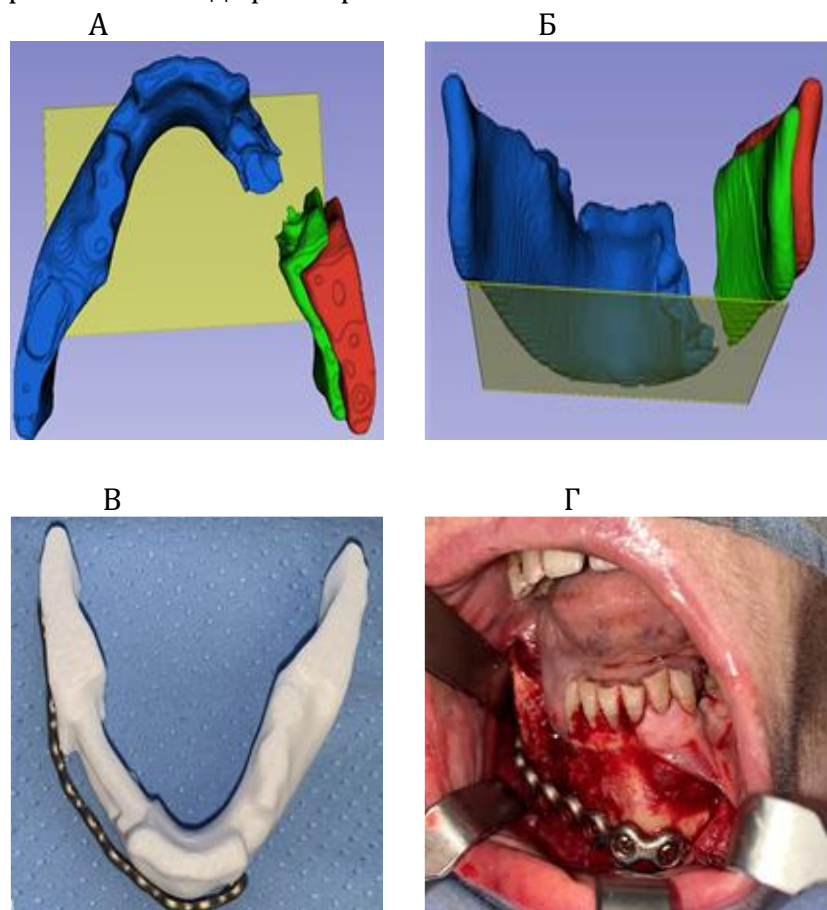


Рисунок 2. Цифровое планирование.

Репозиция перелома выполнена с использованием в качестве ориентира плоскости (жёлтая плоскость), касательной к трём точкам по нижнему краю ветви и симфиза здоровой левой культы нижней челюсти (синий цвет). Правая культя нижней челюсти (красный цвет) затем была ротирована и перемещена в правильное положение (зелёный цвет): А - аксиальная проекция; Б - задне-передняя проекция; В - предоперационное моделирование титановой пластины на запланированной модели; Г - интраоперационная установка предварительно изогнутой пластины.

Физическая модель была изготовлена методом 3D-печати из PLA+ филамента с использованием 3D-принтера Snapmaker Original (Snapmaker, Шэньчжэнь, Китай). Полученная модель использовалась для предоперационного моделирования (предварительного изгиба) титановой реконструкционной пластины, применяемой для фиксации перелома. Предварительно изогнутая титановая пластина была затем стерилизована в соответствии с протоколами лечебного учреждения (рис. 2. С, D).

Хирургическое вмешательство включало три этапа:

1. Выполнен интраоральный доступ к нижней челюсти. Титановая реконструкционная пластина толщиной 2,5 мм была надёжно установлена благодаря предоперационному планированию и анатомической кривизне пластины в области подбородка. Отверстия под винты были предварительно просверлены для обеспечения последующей фиксации.

2. Проведены секвестрэктомия и дебридмент с использованием пьезохирургии. Операция заключалась в удалении некротизированной костной ткани с достижением макроскопически здоровых границ, что подтверждалось кровоточивостью окружающей кости. После этого было выполнено послойное ушивание орально-кожного свища с использованием Vicryl 3.0.

3. Выполнена фиксация нижней челюсти с использованием предварительно изогнутой титановой пластины и винтов. Проведена оценка функции нижней челюсти, которая была признана сохранённой. Слизистая оболочка ушита без натяжения с применением Vicryl 3.0.

Послеоперационная модель, полученная при компьютерной томографии, была сопоставлена с виртуальной моделью для оценки точности планирования и соответствия границ интраоперационной резекции запланированным (рис. 3).



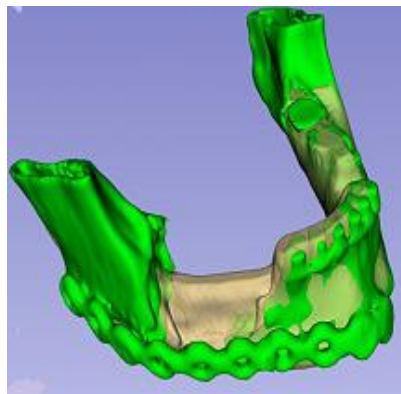
А



Б



В



Г

Рисунок 3. Контроль через 6 месяцев: **А** - интраоральный вид, **Б** - субментовертикальная проекция, **В** - правая латеральная проекция; **Г** - наложение предоперационной модели (белый цвет) и послеоперационной модели (зелёный цвет).

В послеоперационном периоде пациентка получала питание через назогастральный зонд, течение послеоперационного периода было без осложнений, и через 7 дней пациентка была выписана домой.

Пациентке и ухаживающим лицам были даны подробные рекомендации по соблюдению гигиены полости рта (использование антисептических растворов с 0,2% хлоргексидином и чистка зубов), а также по строгому контролю уровня гликемии.

Стабильность результатов как в интраоральной, так и в экстраоральной области была подтверждена через 6 месяцев наблюдения (рис. 3).

Примечательно, что по данным КТ (Dental Scan) через 2 года была подтверждена регенерация костной ткани по нижнему краю нижней челюсти в области послеоперационного дефекта (рис. 4).

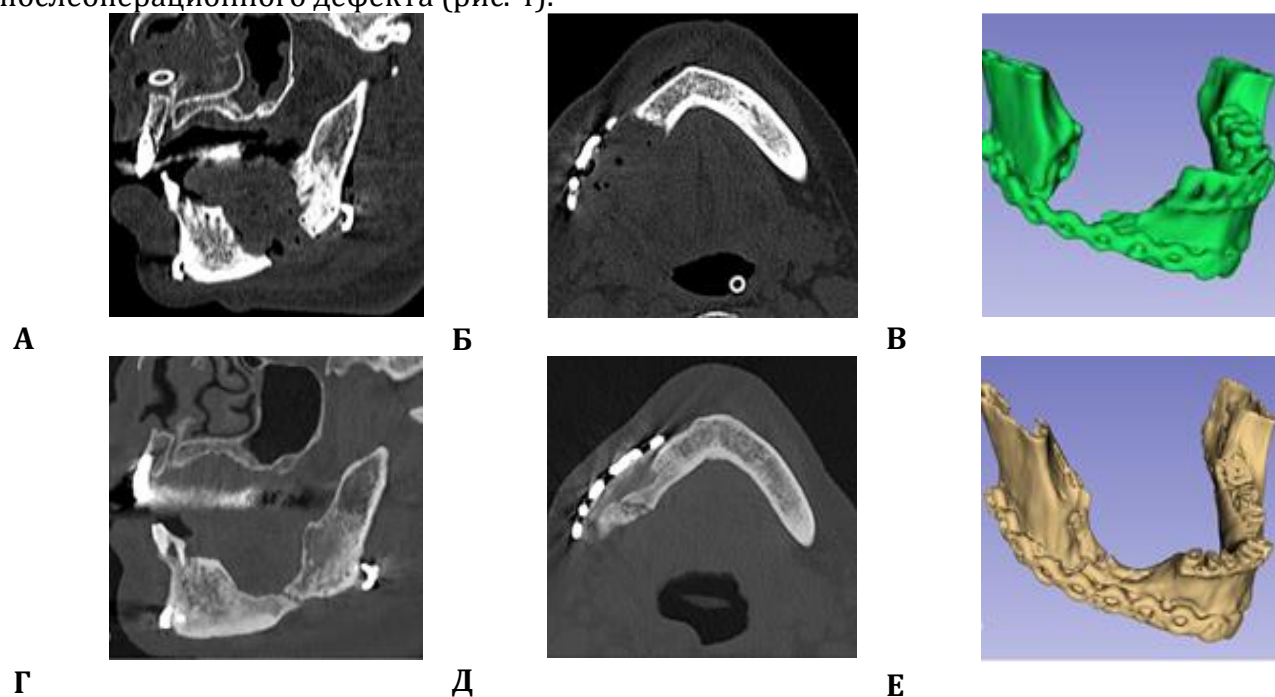


Рисунок 4. **А** - сагиттальная проекция, **Б** - аксиальная проекция и **В** - 3D-модель послеоперационной КТ, сопоставленные с данными двухлетнего наблюдения; **Г**, **Д**, **Е** - контрольное обследование через 2 года, демонстрирующее регенерацию кости по нижнему краю нижней челюсти в пределах операционного дефекта.

Обсуждение. Современные рекомендации подчеркивают необходимость персонализированного подхода при лечении пациентов с медикаментозно-индуцированным остеонекрозом челюстей (МИОНЧ), с приоритетом достижения жизнеспособных костных краёв резекции и высокой точности предоперационного планирования [10].

Лечение распространённых стадий МИОНЧ осложняется пожилым возрастом пациентов, коморбидностью и ограниченной переносимостью травматических вмешательств, что усиливает значение индивидуализации терапии. Одной из ключевых проблем остаётся отсутствие «золотого стандарта» определения границ резекции [11].

Методы визуализации играют ключевую роль: КЛКТ превосходит панорамную рентгенографию [12], КТ обеспечивает точное морфологическое картирование и раннее выявление рецидивов [13], МРТ и сцинтиграфия дополняют оценку распространённости

процесса [12–15]. Функциональные методы (СПЕКТ/СТ, ПЭТ/КТ) позволяют оценить активность патологического процесса [10,13].

Применение 3D-моделирования и предоперационного планирования повышает точность операций, сокращает их длительность и улучшает функциональные и эстетические результаты [1–3, 5–8].

Несмотря на преимущества, метод ограничен трудоёмкостью сегментации, зависимостью от качества цифрового протокола и необходимостью высокой квалификации специалистов [6, 9].

В целом, виртуальная хирургия и 3D-прототипирование обладают значительным потенциалом в оптимизации лечения пациентов с МИОНЧ.

Заключение. Виртуальная хирургия в сочетании с технологиями 3D-прототипирования представляет собой современный, высокотехнологичный и клинически обоснованный подход к лечению пациентов с МИОНЧ. Применение полного цифрового протокола, включающего этапы визуализации, сегментации, виртуального моделирования и предоперационного планирования, позволяет существенно повысить точность хирургического вмешательства, обеспечить адекватность резекционных границ и оптимизировать реконструктивный этап лечения.

Использование предоперационно смоделированных и адаптированных титановых реконструкционных пластин на основе 3D-печатных моделей способствует сокращению времени оперативного вмешательства, снижению объёма интраоперационных манипуляций и повышению стабильности остеосинтеза. Это, в свою очередь, обеспечивает сохранение анатомо-функциональных характеристик нижней челюсти, включая правильное положение мышечка в суставной ямке и физиологическую биомеханику жевательного аппарата.

Клинические результаты, полученные в представленном наблюдении, демонстрируют высокую точность цифрового планирования, что подтверждается сопоставлением виртуальной и послеоперационной моделей, а также стабильностью функциональных и морфологических показателей в отдалённые сроки наблюдения. Особое значение имеет подтверждённая регенерация костной ткани в зоне дефекта, что свидетельствует о благоприятном течении репаративных процессов и эффективности выбранной лечебной тактики.

Важным преимуществом предложенного подхода является его экономическая целесообразность. Использование доступного программного обеспечения с открытым исходным кодом и возможность внутриучрежденческого производства 3D-моделей позволяют существенно снизить затраты на предоперационное планирование без потери качества. При этом достигается высокий уровень персонализации лечения, что соответствует современным принципам прецизионной медицины.

Несмотря на очевидные преимущества, следует учитывать и ряд ограничений, связанных с трудоёмкостью этапов сегментации и виртуального моделирования, необходимостью наличия специализированных навыков работы с АП₁/АП₂-технологиями, а также зависимостью конечного результата от точности выполнения каждого этапа цифрового протокола. Тем не менее, дальнейшее развитие алгоритмов автоматизированной обработки изображений и внедрение методов искусственного интеллекта способны существенно снизить данные ограничения и повысить воспроизводимость результатов.

Таким образом, интеграция виртуальной хирургии и 3D-прототипирования в клиническую практику открывает новые перспективы в лечении пациентов с МИОНЧ, обеспечивая более высокий уровень точности, безопасности и эффективности хирургических вмешательств. Представленный цифровой протокол может быть успешно

адаптирован и применён при лечении переломов лицевого скелета различной этиологии, особенно в условиях сложной анатомии и ограниченных возможностей традиционных методов, с обязательным учётом анатомических ориентиров, симметрии и взаимоотношения мышечно-суставного комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Bedogni A, Mauceri R, Fusco V, Bertoldo F, Bettini G, Di Fede O, et al. Итальянское позиционное заявление (SIPMO-SICMF) по медикаментозно-индуцированному остеонекрозу челюстей (MRONJ). *Oral Dis.* (2024) 30(6):3679–709. doi: 10.1111/odi.14887
2. Bedogni A, Saia G, Bettini G, Tronchet A, Totola A, Bedogni G, et al. Долгосрочные результаты хирургической резекции челюстей у онкологических пациентов с бисфосфонат-ассоциированным остеонекрозом. *Oral Oncol.* (2011) 47(5):420–4. doi: 10.1016/j.oraloncology.2011.02.024
3. Berg BI, Mueller AA, Augello M, Berg S, Jaquier C. Визуализация у пациентов с бисфосфонат-ассоциированным остеонекрозом челюстей (MRONJ). *Dent J (Basel).* (2016) 4(3). doi: 10.3390/dj4030029
4. Chow W, He Z, Liu Y, Song J, Xu C, Luo E. Методы интраоперационного позиционирования мышечка нижней челюсти в ортогнатической хирургии. *Orthod Craniofac Res.* (2022) 25(4):449–58. doi: 10.1111/ocr.12568
5. D'Amato S, Troiano A, Lo Giudice G, De Cicco D, Rusciano M, Tartaro G, et al. Резекционная хирургия по сравнению с дебридментом при II стадии медикаментозно-индуцированного остеонекроза челюсти. *Appl Sci.* (2021) 11(18):8553. doi: 10.3390/app11188553
6. De Cicco D, Boschetti CE, Santagata M, Colella G, Stagliano S, Gaggi A, et al. Медикаментозно-индуцированный остеонекроз челюстей: сравнение рекомендаций SICMF-SIPMO и AAOMS. *Diagnostics (Basel).* (2023) 13(13). doi: 10.3390/diagnostics13132137
7. Dell'Aversana Orabona G, Abbate V, Maglito F, Bonavolonta P, Salzano G, Romano A, et al. Низкозатратная самодельная CAD/CAM-направляющая система для реконструкции нижней челюсти. *Surg Oncol.* (2018) 27(2):200–7. doi: 10.1016/j.suronc.2018.03.007
8. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S, et al. 3D Slicer как платформа обработки изображений для количественной визуализации. *Magn Reson Imaging.* (2012) 30(9):1323–41. doi: 10.1016/j.mri.2012.05.001
9. Guggenberger R, Fischer DR, Metzler P, Andreisek G, Nanz D, Jacobsen C, et al. Бисфосфонат-индуцированный остеонекроз челюсти: сравнение распространённости по данным контрастной МРТ, ПЭТ/КТ с [18F]-фторидом и КЛКТ. *AJNR Am J Neuroradiol.* (2013) 34(6):1242–7. doi: 10.3174/ajnr.A3355
10. Nastro Siniscalchi E, Cutroneo G, Catalfamo L, Santoro G, Allegra A, Oteri G, et al. Иммуногистохимическая оценка саркогликанов и интегринов в эпителии десны у пациентов с множественной миеломой и бисфосфонат-индуцированным остеонекрозом челюсти. *Oncol Rep.* (2010) 24(1):129–34. doi: 10.3892/or_00000837
11. Ruggiero SL, Dodson TB, Aghaloo T, Carlson ER, Ward BB, Kademani D. Позиционное заявление Американской ассоциации челюстно-лицевых хирургов по медикаментозно-индуцированному остеонекрозу челюстей — обновление 2022 года. *J Oral Maxillofac Surg.* (2022) 80(5):920–43. doi: 10.1016/j.joms.2022.02.008
12. Ruggiero SL, Dodson TB, Assael LA, Landesberg R, Marx RE, Mehrotra B, et al. Позиционное заявление Американской ассоциации челюстно-лицевых хирургов по бисфосфонат-ассоциированному остеонекрозу челюстей — обновление 2009 года. *J Oral Maxillofac Surg.* (2009) 67(5 Suppl):2–12. doi: 10.1016/j.joms.2009.01.009

13. Ruggiero SL, Dodson TB, Fantasia J, Goodday R, Aghaloo T, Mehrotra B, et al. Позиционное заявление Американской ассоциации челюстно-лицевых хирургов по медикаментозно-индуцированному остеонекрозу челюстей — обновление 2014 года. *J Oral Maxillofac Surg.* (2014) 72(10):1938–56. doi: 10.1016/j.joms.2014.04.031
14. Yalcin ED, Gungormus M. Данные конусно-лучевой компьютерной томографии при бисфосфонат-ассоциированном остеонекрозе челюстей (обзор). *Int J Dental Sci Res.* (2015) 3(5):111–5. doi: 10.12691/ijdsr-3-5-1
15. Yarom N, Shapiro CL, Peterson DE, Van Poznak CH, Bohlke K, Ruggiero SL, et al. Медикаментозно-индуцированный остеонекроз челюсти: клинические рекомендации MASCC/ISOO/ASCO. *J Clin Oncol.* (2019) 37(25):2270–90. doi: 10.1200/JCO.19.01186