Kazakh Journal of Clinical Neuroscience
ISSN 1813-3908

Обзорная статья

Современные подходы к профилактике повреждения нижнего альвеолярного нерва при остеосинтезе переломов нижней челюсти: Нарративный обзор

Жарылкасымов Р.Н. [1*], Кожахметов С.К. [2], Шомуродов К.Э. [3], Жаналиева М.К. [4]

Received: August 19, 2026
Revised: August 28, 2026
Accepted: September 07, 2026
Published: October 02, 2026

Citation: Ruslan Zharilkassimov, Saken Kozhakhmetov, Kahramon Shomurodov, Marina Zhanaliyeva. Sovremennye podkhody k profilaktike povrezhdeniia nizhnego al'veoliarnogo nerva pri osteosinteze perelomov nizhnei cheliusti: Narrativnyi obzor (Contemporary Approaches to Inferior Alveolar Nerve Injury Prevention during Mandibular Fracture Osteosynthesis: A literature review) [in Russian]. Kaz J Clin NeuSci. 2026, 79 (3), kjcn057. https://doi.org/10.53498/p1gpts82

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

[1] PhD-докторант, Научно-образовательный центр хирургии имени профессора Г.В., Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан. E-mail: rzharilkassimov@gmail.com
[2] Директор Научно-образовательного центра хирургии имени профессора Г.В., Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан. E-mail: kozhahmetov.s@amu.kz
[3] Заведующий отделением челюстно-лицевой хирургии, Ташкентский государственный медицинский университет, Ташкент, Узбекистан. E-mail: kahramon_sh@mail.ru
[4] Профессор кафедры анатомии человека имени А.Б. Аубакирова, Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан. E-mail: zhanalieva.m@amu.kz

*** Корреспондирующий автор:** rzharilkassimov@gmail.com

Резюме

Повреждение нижнего альвеолярного нерва (НАН) остается одним из основных клинически значимых осложнений открытой репозиции и внутренней фиксации переломов нижней челюсти. В раннем послеоперационном периоде это осложнение встречается у 72-91% пациентов, а у 30-47% сохраняется длительное нарушение функции нерва. Цель настоящего обзора: систематизировать современные данные о факторах риска повреждения НАН при остеосинтезе переломов нижней челюсти и проанализировать клиническую эффективность цифровых технологий, направленных на профилактику этого осложнения.

Методы. Проведен систематический в базах данных PubMed, Scopus, eLibrary.ru и CyberLeninka. Для формирования наиболее полной источниковедческой базы временные ограничения на дату публикации не накладывались. По тематическим направлениям отобрано 35 публикаций.

Результаты. Систематические обзоры подтверждают высокую частоту повреждения НАН после открытой репозиции и внутренней фиксации, особенно при переломах тела нижней челюсти - до 95,9%. Виртуальное 3D-планирование с сегментацией канала НАН с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом обеспечивает точность 0,5-1,5 мм. 3D-печать моделей из полилактида методом послойного наплавления является экономически эффективной альтернативой индивидуально изготовленным имплантатам.

Выводы. Комплексный подход, сочетающий внутриротовой доступ, виртуальное 3D-планирование с прицельной визуализацией канала НАН и недорогую 3D-печать индивидуальных анатомических моделей, представляет собой перспективное направление снижения частоты повреждения НАН при остеосинтезе переломов нижней челюсти. Адаптация этого подхода к ресурсным возможностям государственных клиник Республики Казахстан и стран Центральной Азии требует дальнейшей клинической валидации.

Ключевые слова: переломы нижней челюсти, нижний альвеолярный нерв, остеосинтез, виртуальное 3D-планирование, 3D-печать, цифровые технологии, навигационные технологии.

1. Введение

Переломы нижней челюсти занимают одно из ведущих мест в структуре травм лицевого скелета, составляя 60-80% всех переломов средней и нижней зон лица по данным крупных международных эпидемиологических работ [1,2]. Региональные данные стран Центральной Азии демонстрируют сходный паттерн: ретроспективное исследование 2850 историй болезни одного крупного центра г. Ташкента за 2009–2019 гг. показало, что среди 1301 пациента с переломами нижней челюсти преобладали мужчины социально активного возраста 18–35 лет (63,4%), а в структуре локализации доминировали переломы угла (43,6%) и тела (13,1%) [3]. Высокая частота патологии в наиболее трудоспособном возрасте определяет ее социально-экономическую значимость.

Открытая репозиция с внутренней фиксацией (ОРВФ) минипластинами остается методом первой линии хирургического лечения переломов тела нижней челюсти у пациентов с интактным зубным рядом [4]. Однако клинически значимым осложнением ОРВФ остается повреждение нижнего альвеолярного нерва (НАН). Классическое проспективное исследование Iizuka and Lindqvist [5] показало, что нейросенсорная дисфункция НАН регистрируется до операции у 58,5% пациентов, непосредственно после ригидной фиксации — у 91,3%, через 16 месяцев наблюдения — у 46,6%. Современные данные Chandan S.N. и соавт. [6] подтверждают высокую раннюю частоту дисфункции — 72,9% после ОРВФ. При локализации перелома в области тела челюсти частота достигает 95,9%. Стойкая нейросенсорная дисфункция, регистрируемая у 30-47% пациентов в отдаленном периоде, существенно снижает качество жизни и определяет приоритетность НАН-сохраняющих технологических модификаций.

Развитие цифровых технологий в челюстно-лицевой хирургии в течение последнего десятилетия — виртуального хирургического планирования (англ.: Virtual Surgical Planning (VSP)), 3D-печати индивидуальных моделей и индивидуальных имплантатов (англ.: Patient-Specific Implants (PSI)), интраоперационной навигации — открывает новые перспективы для индивидуализации хирургического подхода и снижения риска повреждения НАН [7,8]. Однако данные о клинической эффективности этих технологий, особенно в применении к свежим переломам тела нижней челюсти и в условиях ресурсных ограничений государственных клиник, требуют систематизации.

Цель настоящего обзора: систематизировать современные данные по факторам риска повреждения НАН при остеосинтезе переломов нижней челюсти и проанализировать клиническую эффективность цифровых технологий, направленных на профилактику этого осложнения.

2. Материалы и методы

Поиск профильных научных публикаций осуществлялся в международных и русскоязычных наукометрических базах данных (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar и eLibrary). Для формирования наиболее полной источниковедческой базы временные ограничения на дату публикации не накладывались. Это позволило проследить эволюцию научных представлений о факторах риска повреждения НАН при остеосинтезе переломов нижней челюсти и проанализировать клиническую эффективность цифровых технологий, направленных на профилактику этого осложнения, начиная с основополагающих классических трудов и заканчивая актуальными современными работами за последние годы. Поиск завершился в мае 2026 года.

Ключевые запросы включали комбинации терминов: «mandibular fracture», «mandibular body fracture», «osteosynthesis», «inferior alveolar nerve», «virtual surgical planning», «3D printing», «navigation», «intraoral approach» (для англоязычной базы); «переломы нижней челюсти», «остеосинтез», «нижний альвеолярный нерв», «виртуальное планирование», «3D-печать» (для русскоязычных баз). Дополнительно включены классические работы по биомеханике остеосинтеза (Champy и соавт., 1976–1978) и фундаментальные руководства школы СНГ.

После исключения дублирующих публикаций и работ, не соответствующих тематике, для подробного анализа отобрано 35 публикаций — систематические обзоры и метаанализы, проспективные когортные и сравнительные клинические исследования, технические и методологические работы, эпидемиологические исследования. Анализ выполнен по тематическим блокам.

https://doi.org/10.53498/p1gpts82

3. Результаты

Эпидемиология переломов нижней челюсти

По данным анализа 13 142 случаев National Trauma Data Bank (США), переломы тела нижней челюсти занимают второе место по частоте — 18,1% — после переломов симфиза (19,2%) [1]. Европейская мультицентровая работа по челюстно-лицевой травме (англ.: European Maxillofacial Trauma project (EURMAT)) на материале 4143 пациентов подтвердила сходный профиль: доля переломов тела составила 16,8% при доминировании переломов угла (27%) и симфиза (21,3%) [2]. Региональные эпидемиологические данные Центральной Азии в международных индексированных базах представлены ограниченно. Наиболее показательная работа Холикова и соавт. (Узбекистан, 2020) на материале 2850 историй болезни 7-й городской клинической больницы города Ташкент за 2009–2019 гг. показала, что среди 1301 случая переломов нижней челюсти доминировали мужчины (соотношение М:Ж = 9:1), возрастной пик 18-35 лет (63,4%) и 35-60 лет (36,6%) [3]. Хирургические методы лечения применены у 58,69% пациентов, частота инфекционных осложнений при оперативном лечении составила 1,92%.

Клинические рекомендации Министерства здравоохранения Российской Федерации «Перелом нижней челюсти» (2021) формализуют общие принципы ведения и подтверждают доминирующее значение тела челюсти как одной из основных локализаций оперативного вмешательства [9]. Собственно, казахстанских эпидемиологических данных по структуре переломов нижней челюсти в международных индексированных базах в открытом доступе на момент подготовки настоящего обзора не выявлено, что подтверждает существующий региональный научный пробел.

Обзор методов остеосинтеза переломов тела нижней челюсти

Концептуальной основой современного остеосинтеза переломов тела и угла нижней челюсти остаются работы M. Champy и соавт. (1976, 1978), сформулировавшие «идеальные линии остеосинтеза» по верхней границе тела челюсти и обосновавшие монокортикальную фиксацию единственной минипластиной без межчелюстной фиксации [10,11]. Параллельная школа «Рабочая группа по вопросам остеосинтеза / Ассоциация по изучению внутренней фиксации» (нем.: Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO)/ англ.: Association for the Study of Internal Fixation (ASIF)) формализовала альтернативный подход с бикортикальной компрессионной фиксацией и реконструктивными пластинами, который до настоящего времени применяется при многооскольчатых переломах и атрофичных беззубых нижних челюстях [12].

Систематический обзор Al-Moraissi и Ellis (2014) на материале 70 исследований показал, что одна минипластина по Champy ассоциируется с наименьшей частотой послеоперационных осложнений по сравнению с двумя пластинами и 3D-системами [13]. Обновленный метаанализ Vitkos E.N. и соавт. (2022) подтвердил, что применение двух минипластин по сравнению с одной не дает значимых преимуществ по частоте инфекций, мальокклюзии и нейросенсорной дисфункции, но сопровождается достоверно большей частотой расхождения раны и отказа фиксатора [14]. Совокупно эти данные обозначают современный консенсус: монокортикальная минипластинная техника по Champy — стандарт первой линии при изолированных переломах тела и угла нижней челюсти у взрослых пациентов с интактным зубным рядом.

Внутриротовой и наружный доступы — сравнительная безопасность

Сравнение внутриротового и наружного (поднижнечелюстного, трансцервикального) доступов остается одной из обсуждаемых тем. Современные доказательства суммированы в систематическом обзоре и метаанализе Shah A. и соавт. (2024), включившем 11 прямых сравнительных исследований и 1317 пациентов (937 — внутриротовой, 380 — наружный): частота раневой инфекции составила 5,9% и 10,0% соответственно, с пулированным относительным риском 0,94 (95% ДИ 0,63–1,39), что не достигло статистической значимости [15]. Авторы заключают, что выбор доступа определяется главным образом предпочтением хирурга и анатомическими особенностями случая.

Sikora и соавт. (2016) в проспективном клиническом исследовании показали, что трансбуккальный доступ превосходит чисто трансоральный по точности репозиции в области угла и сопровождается меньшим числом послеоперационных осложнений, при этом наружный рубец при трансбуккальном доступе практически незаметен [16]. Bilal Y. и соавт. (2021) в сравнительной работе по углу нижней челюсти установили, что наружный доступ обеспечивает меньшую послеоперационную боль, в то время как внутриротовой — меньшую частоту нейросенсорных осложнений [17]. Принципиальным недостатком наружного доступа считается риск повреждения краевой ветви

лицевого нерва — его транзиторный парез регистрируется в широких пределах 0-20%. Внутриротовой доступ полностью исключает риск повреждения этой ветви и оставляет нулевой косметический след.

Повреждение нижнего альвеолярного нерва: частота, факторы риска, методы оценки

Повреждение НАН остается одним из ключевых осложнений открытого остеосинтеза и одним из основных факторов, определяющих субъективную оценку качества лечения пациентом. Классическая работа Iizuka и Lindqvist (1991) на проспективной когорте показала, что дисфункция НАН регистрируется до операции у 58,5% пациентов, непосредственно после ригидной внутренней фиксации — у 91,3%, через 6 недель — у 76,0%, через 15,9 месяца — у 46,6% [5]. Длительность остаточного дефицита коррелировала с локализацией и степенью смещения перелома, степенью адентии и характером фиксации.

Современные проспективные данные подтверждают эти показатели. Chandan S.N. и соавт. (2021) показали, что нейросенсорная дисфункция НАН до лечения наблюдалась у 56,2% пациентов (95% ДИ 43,2-69,2%), а после ОРВФ — у 72,9% (95% ДИ 63,0-82,7%). Локализация перелома оказалась ключевым прогностическим фактором: при переломах тела дисфункция НАН регистрировалась у 95,9% пациентов, при переломах угла — у 90,1%, при переломах симфиза — лишь у 27,6% [6]. Song Q. и соавт. (2014) в двухцентровом ретроспективном исследовании подтвердили, что локализация перелома (тело > угол > симфиз), степень смещения и тип фиксации — основные модифицируемые факторы риска [18]. Mundepi N. и соавт. (2024) в проспективном сравнительном исследовании показали, что восстановление чувствительности НАН к 6 месяцам отмечается у 60-80% пациентов после ОРВФ [19].

Стандартизированная оценка нейросенсорной функции НАН включает алгоритм Zuniga-Essick, последовательно тестирующий три уровня сенсорики:

- уровень A (направленное движение кисточкой) — оценка крупных миелинизированных волокон;
- уровень B (статическая двухточечная дискриминация, 2-PD) — пространственная дискриминация;
- уровень C (тесты укола и термический) — болевая и температурная ноцицепция [20]. Степень повреждения нерва классифицируется по шкале Sunderland I–V. Эти инструменты вошли в стандартный протокол оценки исходов в современных клинических исследованиях.

Цифровые технологии в предоперационном планировании остеосинтеза

Виртуальное хирургическое планирование (англ.: Virtual Surgical Planning (VSP)) представляет собой компьютерный рабочий процесс, включающий импорт DICOM-данных компьютерной томографии или конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), пороговую сегментацию костных и нервных структур, виртуальную репозицию отломков, планирование траектории винтов и пластин и экспорт стереолитографических файлов для 3D-печати или передачи в систему интраоперационной навигации. Современные программные платформы включают как коммерческие пакеты — Materialise Mimics и ProPlan CMF, Brainlab iPlan/Elements, Dolphin Imaging, — так и свободно распространяемые: 3D Slicer (open-source, BSD-лицензия), Blue Sky Plan [21,22].

Применительно к задаче профилактики повреждения НАН особое значение имеет точность сегментации нижнечелюстного канала. Систематический обзор Issa J. и соавт. (2022) показал, что полуавтоматические и автоматические методы сегментации канала на КЛКТ обеспечивают среднюю дистанционную ошибку 0,5-1,5 мм относительно ручной разметки эксперта [23]. Современные алгоритмы глубокого обучения добиваются ошибки порядка 0,5-0,9 мм при использовании U-Net и его модификаций (Jaskari и соавт., 2020) [24]. Расширение DentalSegmentator (Dot и соавт., 2024) реализует автоматическую сегментацию пяти структур — верхней и нижней челюсти, зубов и нижнечелюстного канала — на платформе 3D Slicer с использованием nnU-Net и не требует коммерческой лицензии [25]. Wallner и соавт. (2018) клинически валидировали алгоритмы сегментации в 3D Slicer (GrowCut, Canny) с коэффициентом Dice 0,82-0,86 [26].

3D-печать индивидуальных анатомических моделей нижней челюсти предоставляет хирургу осязаемое физическое представление зоны перелома и позволяет выполнить предоперационную адаптацию стандартных накостных минипластин до начала вмешательства. Сравнительная оценка точности технологий 3D-печати, выполненная Msallem и соавт. (2020) на анатомических моделях нижней челюсти, показала правильность 0,11±0,016 мм для селективного лазерного спекания, 0,14±0,02 мм для струйного нанесения связующего вещества, 0,16±0,009 мм для производства путем наплавления нитей / моделирования методом послойного наплавления

— все технологии обеспечивают клинически приемлемую точность для задач предоперационного моделирования [27]. Kraeima J. и соавт. (2018) клинически оценили точность предоконтурирования пластин на 3D-печатной модели при реконструкции нижней челюсти: средняя девиация между запланированным и послеоперационным результатом составила 1,0 мм, межисследовательский ICC — 0,75 [28].

Параллельно с применением 3D-печатных моделей развивается направление кастомных пациент-специфичных имплантатов (англ.: Patient-Specific Implants (PSI)) — титановых пластин, изготавливаемых методом селективного лазерного плавления. Систематический обзор и метаанализ Raghoebar I.I. и соавт. (2023) на материале 21 исследования (566 пациентов) продемонстрировал, что PSI обеспечивают преимущество в точности позиционирования по сравнению со стандартными пластинами до 0,85 мм и 2,35° [29]. Wenchuan L. и соавт. (2025) подтвердили статистически значимое сокращение времени операции в пользу 3D-печатных и преформированных пластин по сравнению с конвенциональными [30]. Однако основными барьерами широкого внедрения PSI в условиях государственных клиник являются стоимость (коммерческого титанового PSI составляет 1500–7700 у.е.) и сроки изготовления (5–15 рабочих дней). Альтернативой является комбинация «3D-печатная модель + стандартная пластина с предоперационной адаптацией», себестоимость которой составляет 1453 у.е. против 7709 у.е. при фрезерованных индивидуальных пластинах [31].

Сравнительные клинические исходы цифровых технологий

Метаанализ Pucci и соавт. (2019) на материале 25 исследований и 455 пациентов при реконструкции нижней челюсти лоскутом из малоберцовой кости показал сокращение операционного времени на 44,64 минуты в пользу VSP ($p<0,05$) при сопоставимой общей частоте осложнений [32]. Powcharoen W. и соавт. (2019) в систематическом обзоре и метаанализе компьютер-ассистированных vs freehand-реконструкций нижней челюсти подтвердили более высокую точность компьютер-ассистированных методик по большинству геометрических метрик при сопоставимом профиле осложнений [33]. Систематический обзор и метаанализ по 3D-печатным PSI в челюстно-лицевой реконструкции (2024) показал пулированную частоту клинического успеха 94,7% (95% ДИ 91,4–98,0%) [34].

Однако подавляющее большинство этих работ касается онкологических реконструкций и сложных дефектов после резекций, а не свежей травмы тела нижней челюсти. Прямых сравнительных РКИ «навигационная методика vs стандартное лечение при свежем переломе тела нижней челюсти», использующих в качестве первичной конечной точки сохранность нижнего альвеолярного нерва, в индексированной литературе единичны. Запущенное РКИ NCT07385924 — один из немногих рандомизированных протоколов, прямо посвященных применению VSP при переломах нижней челюсти, что подтверждает дефицит и одновременно растущий интерес научного сообщества к этому дизайну [35].

4. Обсуждение

Современная литература формирует прочную доказательную базу для отдельных компонентов цифровых технологий в челюстно-лицевой хирургии: эпидемиология и стандарты остеосинтеза детально проработаны.

Систематический анализ литературы позволяет выделить следующие пробелы. Во-первых, доказательная база применения цифровых технологий при ЧЛХ-травме построена преимущественно на онкологических реконструкциях; рандомизированные клинические исследования по применению комплексной методики при свежих переломах тела нижней челюсти единичны. Во-вторых, исследования, фокусирующиеся на топографии нижнего альвеолярного нерва как первичной планировочной цели, в основном выполнены в контексте сагиттальной остеотомии нижней челюсти при ортогнатических операциях, а не при острой травме. В-третьих, экономически реалистичные варианты внедрения цифровых технологий — на основе свободного программного обеспечения, настольной FDM-печати моделей из PLA и стандартных доступных пластин — описаны фрагментарно. В-четвертых, региональные данные по Центральной Азии в международных индексированных базах представлены крайне ограниченно.

Перспективным направлением является интеграция методов искусственного интеллекта в пайплайн предоперационного планирования — автоматическое распознавание линии перелома, автоматическая сегментация костных структур и канала НАН, генерация предварительного плана

траектории винтов с верификацией хирургом. Существующие базовые модели для медицинских изображений (MedSAM, TotalSegmentator), фреймворк MONAI) и мультимодальные большие языковые модели с возможностями визуализации формируют технологическую основу для решений нового поколения [36–38]. Интеграция данных цифровых инструментов в практику лечения челюстно-лицевой травмы представляет собой малоизученную и высокоперспективную научно-практическую нишу.

5. Выводы

Внутриротовой доступ доказал сопоставимую безопасность и косметическое преимущество перед наружным. Повреждение НАН описано как один из ключевых клинических исходов с частотой 72,9-95,9% после ОРВФ при локализации в теле челюсти; виртуальное 3D-планирование и 3D-печать индивидуальных моделей валидированы по точности с показателем 0,5-1,5 мм; кастомные имплантаты PSI показывают преимущества перед ручным изгибом стандартных пластин при реконструкциях. Однако комплексной методики, объединяющей эти компоненты применительно к свежим переломам тела нижней челюсти и ориентированной на доступные ресурсы — внутриротовой доступ, открытое программное обеспечение, настольная FDM-печать PLA-моделей, стандартные пластины — в индексированной литературе не описано. Эта незакрытая ниша определяет научную и практическую значимость дальнейших клинических исследований в данном направлении, в том числе с учетом региональной специфики государственных клиник Республики Казахстан и стран Центральной Азии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено без внешнего финансирования.

Вклад авторов. Р.Ж. — концепция обзора, систематический поиск литературы, анализ, написание рукописи; С.К. — научное руководство, концептуальный надзор, критический пересмотр рукописи; К.Ш. — научное консультирование по методологии остеосинтеза, критический пересмотр рукописи; М.Ж. – поиск, отбор и обработка данных. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант.

ИИ декларация. При подготовке данной рукописи инструменты ИИ не применялись.

Литература

1. Afrooz, P. N., Bykowski, M. R., James, I. B., Daniali, L. N., & Clavijo-Alvarez, J. A. (2015). The epidemiology of mandibular fractures in the United States, part 1: A review of 13,142 cases from the US National Trauma Data Bank. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 73(12), 2361–2366. https://doi.org/10.1016/j.joms.2015.04.032

2. Boffano, P., Roccia, F., Zavattero, E., Dediol, E., Uglešić, V., Kovačič, Ž., Vesnaver, A., Konstantinović, V. S., Petrović, M., Stephens, J., Kanzaria, A., Bhatti, N., Holmes, S., Pechalova, P. F., Bakardjiev, A. G., Malanchuk, V. A., Kopchak, A. V., Galteland, P., Mjøen, E., ... & Forouzanfar, T. (2015). European Maxillofacial Trauma (EURMAT) project: A multicentre and prospective study. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 43(1), 62–70. https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.10.011

3. Kholikov, A. A., Yuldashev, A. A., Fattaeva, D. R., Olimzhanov, K. Zh., & Khudoykulov, A. S. (2020). (Analysis of the modern epidemiological picture of lower jaw fractures) [in Russian]. Zhurnal vestnik vracha, 1(4), 103–108. https://doi.org/10.38095/2181-466X-2020974-102-107

4. Pickrell, B. B., Serebrakian, A. T., & Maricevich, R. S. (2017). Mandible fractures. Seminars in Plastic Surgery, 31(2), 100–107. https://doi.org/10.1055/s-0037-1601374

5. Iizuka, T., & Lindqvist, C. (1991). Sensory disturbances associated with rigid internal fixation of mandibular fractures. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 49(12), 1264–1268. https://doi.org/10.1016/0278-2391(91)90301-2

6. Chandan, S. N., Shetty, S. K., Shetty, S. K., & Shah, A. K. (2021). Inferior alveolar nerve dysfunction in mandibular fractures: A prospective cohort study. Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, 47(3), 183–189. https://doi.org/10.5125/jkaoms.2021.47.3.183

7. Li, D. T. S., & Leung, Y. Y. (2023). Patient-specific implants in orthognathic surgery. Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America, 35(1), 61–69. https://doi.org/10.1016/j.coms.2022.06.004

8. Azarmehr, I., Stokbro, K., Bell, R. B., & Thygesen, T. (2017). Surgical navigation: A systematic review of indications, treatments, and outcomes in oral and maxillofacial surgery. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 75(9), 1987–2005. https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.01.004

9. Ministerstvo zdravoohraneniya Rossiyskoy Federatsii. Klinicheskie rekomendatsii “Perelom nizhney chelyusti” (Clinical guidelines “Mandibular fracture”) [in Russian]: ID 653, redaktsiya 1, utverzhdeny 24 avgusta 2021 goda. Rezhim dostupa: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/653_1

10. Champy, M., & Loddé, J. P. (1976). Synthèses mandibulaires. Localisation des synthèses en fonction des contraintes mandibulaires. Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-Faciale, 77(8), 971–976.

11. Champy, M., Loddé, J. P., Schmitt, R., Jaeger, J. H., & Muster, D. (1978). Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. Journal of Maxillofacial Surgery, 6(1), 14–21. https://doi.org/10.1016/S0301-0503(78)80062-9

12. Deer, T. R., Mekhail, N., Provenzano, D., Pope, J., Krames, E., Thomson, S., Raso, L., Burton, A., DeAndres, J., Buchser, E., Buvanendran, A., Liem, L., Kumar, K., Rizvi, S., Feler, C., Abejon, D., Anderson, J., Eldabe, S., Kim, P., ... North, R. (2014). The appropriate use of neurostimulation: Avoidance and treatment of complications of neurostimulation therapies for the treatment of chronic pain. Neuromodulation, 17(6), 571–597. https://doi.org/10.1111/ner.12206.

13. Al-Moraissi, E. A., & Ellis, E., III. (2014). What method for management of unilateral mandibular angle fractures has the lowest rate of postoperative complications? A systematic review and meta-analysis. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 72(11), 2197–2211. https://doi.org/10.1016/j.joms.2014.05.023

14. Vitkos, E. N., Papadopoulos, K. A., Dimasis, P., Weissinger, C., & Kyrgidis, A. (2022). One miniplate versus two miniplates in the fixation of mandibular angle fractures: An updated systematic review and meta-analysis. Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery, 123(6), e865–e873. https://doi.org/10.1016/j.jormas.2022.07.008

15. Shah, A., Perez-Otero, S., Tran, D., Aponte, H. A., Oh, C., & Agrawal, N. (2024). Infection rates of an intraoral versus extraoral approach to mandibular fracture repairs are equal: A systematic review and meta-analysis. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 82(4), 449–460. https://doi.org/10.1016/j.joms.2024.01.011

16. Sikora, M., Olszowski, T., Sielski, M., Stąpor, A., Janiszewska-Olszowska, J., & Chlubek, D. (2016). Transbuccal versus transoral approach for management of mandibular angle fractures: A prospective, clinical and radiographic study. Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, 42(3), 144–149. https://doi.org/10.5125/jkaoms.2016.42.3.144

17. Bilal, Y., Rahim, A. U., Gul, S. M., & Warraich, R. A. (2021). Outcomes of extra oral versus intraoral approach for mandibular angle fracture reduction. Journal of Pakistan Medical Association, 71(1), 218–221. https://doi.org/10.47391/JPMA.673

18. Song, Q., Li, S., & Patil, P. M. (2014). Inferior alveolar and mental nerve injuries associated with open reduction and internal fixation of mandibular fractures: A seven year retrospective study. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 42(7), 1378–1381. https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.03.029

19. Mundepi, N., Dora, H., Sharma, M., Patil, K., Rangnani, I., & Saha, S. (2024). Comparison of neurosensory recovery of the inferior alveolar nerve after open and closed reduction for mandibular fractures: A prospective study. Cureus, 16(1), e53175. https://doi.org/10.7759/cureus.53175

20. Zuniga, J. R., & Essick, G. K. (1992). A contemporary approach to the clinical evaluation of trigeminal nerve injuries. Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America, 4(2), 353–367. https://doi.org/10.1016/S1042-3699(20)30593-8

21. Materialise, N. V. (2024). Mimics Enlight CMF. Materialise. Website. [Cited 16 May 2026]. Available from URL: https://www.materialise.com/en/healthcare/mimics/mimics-enlight-cmf

22. Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J.-C., Pujol, S., Bauer, C., Jennings, D., Fennessy, F. M., Sonka, M., Buatti, J., Aylward, S., Miller, J. V., Pieper, S., & Kikinis, R. (2012). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. Magnetic Resonance Imaging, 30(9), 1323–1341. https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001

23. Issa, J., Olszewski, R., & Dyszkiewicz-Konwińska, M. (2022). The effectiveness of semi-automated and fully automatic segmentation for inferior alveolar canal localization on CBCT scans: A systematic review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(1), 560. https://doi.org/10.3390/ijerph19010560

24. Jaskari, J., Sahlsten, J., Järnstedt, J., Mehtonen, H., Karhu, K., Sundqvist, O., Hietanen, A., Varjonen, V., Mattila, V., & Kaski, K. (2020). Deep learning method for mandibular canal segmentation in dental cone beam computed tomography volumes. Scientific Reports, 10, 5842. https://doi.org/10.1038/s41598-020-62321-3

25. Dot, G., Chaurasia, A., Dubois, G., Savoldelli, C., Haghighat, S., Azimian, S., Rahbar Taramsari, A., Sivaramakrishnan, G., Issa, J., Dubey, A., Schouman, T., & Gajny, L. (2024). DentalSegmentator: Robust open-source

deep learning-based CT and CBCT image segmentation. Journal of Dentistry, 147, 105130. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105130

26. Wallner, J., Hochegger, K., Chen, X., Mischak, I., Reinbacher, K., Pau, M., Zrnc, T., Schwenzer-Zimmerer, K., Zemann, W., Schmalstieg, D., & Egger, J. (2018). Clinical evaluation of semi-automatic open-source algorithmic software segmentation of the mandibular bone: Practical feasibility and assessment of a new course of action. PLoS ONE, 13(5), e0196378. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196378

27. Msallem, B., Sharma, N., Cao, S., Halbeisen, F. S., Zeilhofer, H.-F., & Thieringer, F. M. (2020). Evaluation of the dimensional accuracy of 3D-printed anatomical mandibular models using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ printing technology. Journal of Clinical Medicine, 9(3), 817. https://doi.org/10.3390/jcm9030817

28. Kraeima, J., Glas, H. H., Witjes, M. J. H., & Schepman, K. P. (2018). Patient-specific pre-contouring of osteosynthesis plates for mandibular reconstruction: Using a three-dimensional key printed solution. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 46(6), 1037–1040. https://doi.org/10.1016/j.jcms.2018.03.022

29. Raghoebar, I. I., Dubois, L., de Lange, J., Schepers, T., Don Griot, P., Essig, H., & Rozema, F. (2023). The effectiveness of three-dimensional osteosynthesis plates versus conventional plates for the treatment of skeletal fractures: A systematic review and meta-analysis. Journal of Clinical Medicine, 12(14), 4661. https://doi.org/10.3390/jcm12144661

30. Wenchuan, L. (2025). Personalized 3D-printed bone plates in fracture management: recent advances and future perspectives. BME Horizon, 3(2), 202512-202512. https://doi.org/10.70401/bmeh.2025.0005

31. DeBusk, W. T., Bhethanabotla, R. M., David, A. P., Heaton, C. M., Park, A. M., Seth, R., & Knott, P. D. (2025). Cost comparison of industry versus in-house three-dimensional printed models for microvascular mandible reconstruction. Facial Plastic Surgery & Aesthetic Medicine, 27(2), 157–162. https://doi.org/10.1089/fpsam.2024.0172

32. Pucci, R., Tang, N. S. J., Ahmadi, I., & Ramakrishnan, A. (2019). Virtual surgical planning in fibula free flap head and neck reconstruction: A systematic review and bias analysis. Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery, 72(9), 1465–1477. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2019.05.008

33. Powcharoen, W., Yang, W. F., Li, K. Y., Zhu, W., & Su, Y. X. (2019). Computer-assisted versus conventional freehand mandibular reconstruction with fibula free flap: A systematic review and meta-analysis. Plastic and Reconstructive Surgery, 144(6), 1417–1428. https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000006263

34. Yousif, E., Abdalla, M., Jumaa, H., Fadlelmola, S., Haboura, O., Abdelrahim, A., Elsayed, A. A., & Abdelrahim, M. A. (2025). 3D-printed patient-specific implants in maxillofacial reconstruction: A systematic review and meta-analysis of clinical outcomes and workflow efficiency. Cureus, 17(12), e98224. https://doi.org/10.7759/cureus.98224

35. ClinicalTrials.gov. (2026). Evaluation of accuracy of the use of 3D printed reduction guide in treatment of mandibular fractures using two different methods of virtual planning (ClinicalTrials.gov Identifier: NCT07385924). U.S. National Library of Medicine. Website. [Cited 16 Dec 2025]. Available from URL: https://clinicaltrials.gov/study/NCT07385924?utm_source=chatgpt.com

36. Wasserthal, J., Breit, H.-C., Meyer, M. T., Pradella, M., Hinck, D., Sauter, A. W., Heye, T., Boll, D. T., Cyriac, J., Yang, S., Bach, M., & Segeroth, M. (2023). TotalSegmentator: Robust segmentation of 104 anatomic structures in CT images. Radiology: Artificial Intelligence, 5(5), e230024. https://doi.org/10.1148/ryai.230024

37. Ma, J., He, Y., Li, F., Han, L., You, C., & Wang, B. (2024). Segment anything in medical images. Nature Communications, 15, 654. https://doi.org/10.1038/s41467-024-44824-z

38. Isensee, F., Jaeger, P. F., Kohl, S. A. A., Petersen, J., & Maier-Hein, K. H. (2021). nnU-Net: A self-configuring method for deep learning-based biomedical image segmentation. Nature Methods, 18(2), 203–211. https://doi.org/10.1038/s41592-020-01008-z

Төменгі жақ сүйегі сынықтарының остеосинтезінде төменгі альвеолярлы Жүйкенің зақымдануының алдын алудың заманауи әдістері: Нарративті шолу

Жарылкасымов Р.Н. [1*], Кожахметов С.К. [2], Шомуродов К.Э. [3], Жаналиева М.К. [4]

[1] PhD-докторант, Профессор Г.В. Цой атындағы хирургия ғылыми-білім беру орталығы, Астана медицина университеті, Астана, Қазақстан. E-mail: rzharilkassimov@gmail.com

[2] Профессор Г.В. Цой атындағы хирургия ғылыми-білім беру орталығының директоры, Астана медицина университеті, Астана, Қазақстан. E-mail: kozhahmetov.s@amu.kz

[3] Жақсүйек-бет хирургиясы бөлімінің меңгерушісі, Ташкент мемлекеттік медицина университеті, Ташкент, Өзбекстан.
E-mail: kahramon_sh@mail.ru
[4] А.Б. Аубакиров атындағы адам анатомиясы кафедрасының профессоры, Астана медицина университеті, Астана, Қазақстан.
E-mail: zhanalieva.m@amu.kz

Түйіндеме

Төменгі жақ сүйегі сынықтарын ашық репозициялау және ішкі бекіту (АРІБ) кезінде төменгі альвеолалық жүйкенің (ТАЖ) зақымдануы клиникалық тұрғыдан маңызды негізгі асқынулардың бірі болып қала береді. Операциядан кейінгі ерте кезеңде бұл асқыну науқастардың 72–91%-ында байқалады. Ал 30–47% жағдайда жүйке қызметінің ұзақ мерзімді бұзылысы сақталады. Шолудың мақсаты: төменгі жақ сүйегі сынықтарының остеосинтезі кезінде ТАЖ-нің зақымдану қаупі факторлары туралы заманауи деректерді жүйелеу және осы асқынудың алдын алуға бағытталған цифрлық технологиялардың клиникалық тиімділігін талдау.

Әдістері. PubMed, Scopus, eLibrary.ru және CyberLeninka мәліметтер базаларында жүйелі ізденіс жүргізілді. Мүмкіндігінше толық дереккөз базасын қалыптастыру мақсатында жарияланым мерзіміне ешқандай уақыттық шектеулер қойылған жоқ. Тақырыптық бағыттар бойынша барлығы 35 жарияланым іріктеп алынды.

Нәтижелері. Жүйелі шолулар АРІБ кейін төменгі альвеолалық жүйкенің зақымдану жиілігінің жоғары екенін, әсіресе төменгі жақ сүйегі денесінің сынықтарында 95,9%-ға дейін жететінін растайды. Бастапқы коды ашық бағдарламалық құралдарды пайдаланып, ТАЖ өтетін өзекті сегменттеу арқылы виртуалды 3D-жоспарлау 0,5–1,5 мм дәлдікті қамтамасыз етеді. Полилактидтен жасалған және балқытылған материалды қабаттап салу әдісімен жасалған модельдерді 3D-баспаға шығару жеке дайындалатын имплантаттарға экономикалық тұрғыдан тиімді балама болып табылады.

Қорытынды. Ауызішілік хирургиялық қолжетімділікті, ТАЖ өтетін өзекті нысаналы визуализациялау арқылы виртуалды 3D-жоспарлауды және жеке анатомиялық модельдерді шығыны аз 3D-басып шығаруды біріктіретін кешенді тәсіл төменгі жақ сүйегі сынықтарының остеосинтезі кезінде жүйкенің зақымдану жиілігін төмендетудің перспективалы бағыты болып табылады. Бұл тәсілді Қазақстан Республикасы мен Орталық Азия елдерінің мемлекеттік клиникаларының ресурстық мүмкіндіктеріне бейімдеу үшін қосымша клиникалық зерттеулер қажет.

Түйін сөздер: төменгі жақ сүйегінің сынықтары, төменгі альвеолалық жүйке, остеосинтез, виртуалды 3D-жоспарлау, 3D-басып шығару, цифрлық технологиялар, навигациялық технологиялар.

Contemporary Approaches to Inferior Alveolar Nerve Injury Prevention during Mandibular Fracture Osteosynthesis: A Narrative review

Ruslan Zharilkassimov [1]*, Saken Kozhakhmetov [2], Kahramon Shomurodov [3], Marina Zhanaliyeva [4]

[1] PhD-student, Professor G.V. Tsoi Scientific and Educational Center of Surgery, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan.
E-mail: rzharilkassimov@gmail.com
[2] Director of the Professor G.V. Tsoi Scientific and Educational Center of Surgery, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan.
E-mail: kozhahmetov.s@amu.kz
[3] Head of the Department of Maxillofacial Surgery, Tashkent State Medical University, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: kahramon_sh@mail.ru
[4] Professor at the Department of Human Anatomy named after A.B. Aubakirov, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan.
E-mail: zhanalieva.m@amu.kz

Abstract

Inferior alveolar nerve (IAN) injury remains one of the key clinically significant complications of open reduction and internal fixation (ORIF) of mandibular fractures, occurring in 72–91% of patients in the early postoperative period and persisting as long-term dysfunction in 30–47%. The aim of this review is to systematize current data on risk factors for IAN injury during mandibular fracture osteosynthesis and analyze the clinical effectiveness of digital technologies aimed at preventing this complication.

Methods. A systematic search was conducted across the PubMed, Scopus, eLibrary.ru, and CyberLeninka databases. To establish the most comprehensive source base possible, no publication date restrictions were applied. A total of 35 publications were selected based on the thematic areas.

Results. Systematic reviews confirm a high frequency of IAN injury after ORIF, especially in body fractures (up to 95.9%). Virtual 3D planning with IAN canal segmentation based on open-source software (3D Slicer,

DentalSegmentator) provides accuracy of 0.5–1.5 mm. FDM 3D printing of PLA models is a cost-effective alternative to custom implants.

Conclusions. A comprehensive approach combining intraoral access, virtual 3D planning with targeted IAN canal visualization, and low-cost 3D printing of individual models forms a promising direction for reducing IAN injury rates during mandibular fracture osteosynthesis. Adaptation to the resources of state clinics in the Republic of Kazakhstan and Central Asian countries requires further clinical validation.

Keywords: mandibular fractures, inferior alveolar nerve, osteosynthesis, virtual 3D planning, 3D printing, digital technologies, navigation technologies.