

DOI: <https://doi.org/10.33295/1992-576X-2025-3-117>

УДК 616.314-007.13-089.23-036.82:616.716.8-001.45::004.8(045+048.82)

*Брожсина Б. В.**Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна*

Сучасні цифрові підходи до діагностики та планування ортопедичної реабілітації пацієнтів із втратою зубів внаслідок поранення щелепно-лицьової ділянки

(огляд літератури)

▷ **Актуальність.** Статтю присвячено актуальному питанню особливостей сучасних цифрових підходів до діагностики та планування ортопедичної реабілітації пацієнтів із втратою зубів внаслідок поранення щелепно-лицьової ділянки. Це питання набуває більшої актуальності у результаті активних бойових дій на території України та збільшенню кількості військових і цивільних людей із пораненнями щелепно-лицьової ділянки. Для їх ефективної реабілітації поряд із традиційними методами діагностики потрібно використовувати також цифрові технології. Показано, що в останні роки цифрові підходи та технології інтенсивно розвиваються, їх впровадження стає поширенішим й активно вдосконалює медицину загалом та стоматологію зокрема.

Упровадження штучного інтелекту в ортопедичну стоматологію під час реабілітації пацієнтів із пораненнями щелепно-лицьової ділянки допоможе підвищити точність діагностики та спростити планування лікування. Крім того, це сприятиме розробленню персоналізованого підходу до планування ортопедичної реабілітації шляхом цифрового аналізу діагностичних даних, що допоможе визначити ефективні ортопедичні втручання для кожного окремого пацієнта у разі втрати зубів внаслідок поранення щелепно-лицьової ділянки. Персоналізований цифровий стоматологічний паспорт, закодований цифровими технологіями, забезпечить реабілітацію та виготовлення протезів на основі 3D-друкованих стоматологічних біоматеріалів. Розглянуто застосування 3D-сканерів та CAD/CAM-технологій із залучення цифрових програм (Dentsply Sirona CEREC, 3Shape TRIOS, Exocad, Blue Sky Plan, Nobel Biocare, Meshmixer, Dental Wings, Real Guide 5.3) для підвищення точності діагностики, планування та виготовлення протезів.

Отже, аналіз можливостей ортопедичних методів діагностики у пацієнтів, які втратили зуби внаслідок поранення, показав, що на сьогодні штучний інтелект розширює діагностичні та лікувальні можливості. Різні види комп'ютерної томографії, інтраорального сканування, цифрової оклюзіографії та сучасні цифрові програми і платформи забезпечують розроблення індивідуальних планів лікування, точніше планування ортопедичної реабілітації та підвищення її ефективності.

Ключові слова: стоматологія, штучний інтелект, ортопедична реабілітація, діагностика щелеп, поранення, щелепно-лицьова ділянка.

Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.uk>



Вступ

Останнім часом спостерігається значний прогрес у стоматологічній практиці завдяки інтеграції циф-

рових підходів і нових діагностичних технологій із застосуванням штучного інтелекту (ШІ) [1, 2]. Сучасні інновації змінюють діагностичні підходи, підвищують точність, ефективність результатів

**Тенденції діагностики та лікування пацієнтів
із пораненнями щелепно-лицьової ділянки на різних етапах реабілітації**

Критерії оцінювання	Сучасні інноваційні технології	Традиційні стоматологічні методи
Рентген-діагностика	КТ високої роздільної здатності (КПКТ), віртуальне планування (3D-аналіз)	Панорамна рентгенографія (ОПТГ), внутрішньоротові знімки, СКТ (низької роздільної здатності)
Оцінювання м'яких тканин	Фотопротокол, інтраоральне сканування з наступним вимірюванням необхідних показників, цифровізація відбитків	Візуально та пальпаторно
Оцінювання прикусу та планування	Цифрові моделі, віртуальне моделювання оклюзії, цифрові артикулятори	Гіпсові моделі, аналогові артикулятори
Протезування	Цифрове CAD/CAM моделювання та адитивне виготовлення протезів, імплантація в навігаційному протоколі	Аналогове моделювання та виготовлення протезів. Знімні або незнімні ортопедичні конструкції (мости, коронки). Традиційна імплантація
Візуалізація результатів	Протоколи цифрового моделювання усмішки. Цифровий DSD протокол у тривимірному просторі. Цифровий Wax Up	Воскове моделювання
Комунікація між фахівцями	Спільна робота у цифровому середовищі через офіційні застосунки клініка—лабораторія (на прикладі Medit Link)	Переважно усна, на основі друківаних знімків, паперових нарядів
Точність та прогнозованість	Висока точність під час протезування на імплантатах з використанням фотограметрії	Протезування з використанням аналогових трансфер-чеків
Час лікування	Короткий завдяки попередньому 3D-плануванню. Можливість віддалено корегувати лікування	Довгий через використання аналогових протоколів, які вимагають фізичного підтвердження чи корекції

лікування пацієнтів із втратою зубів внаслідок поранення щелепно-лицьової ділянки (ЩЛД) [3]. Упровадження цифрових технологій також може сприяти підвищенню рівня задоволеності та якості життя пацієнтів.

В останні роки у зв'язку з воєнними діями значно збільшилася кількість поранень ЩЛД [1]. За даними R. Franco, G. Minervini [2], у військових конфліктах, які відбуваються у світі, поранення ЩЛД становлять понад 20 % загального обсягу втрат військових, а більш як 6 % — українських. З моменту повномасштабного вторгнення частота бойової травми в Україні зросла, але точну статистику на цей час зробити неможливо, оскільки активні бойові дії продовжуються. Як зазначає А. О. Михайленко [4], у період проведення АТО/ООС частка переломів кісток лицевого черепа становила 42,1 %, ізольованих ушкоджень м'яких тканин — у 48,1 %. За даними поточної роботи кафедри щелепно-лицьової терапії Інституту післядипломної освіти Національного медичного університету імені О. О. Богомольця [5] показано, що близько 30 % усіх поранень стосуються ЩЛД, голови та шиї, близько 12 % припадає на випадки, які потребують втручання нейрохірургів.

Це питання стає особливо актуальним у зв'язку з активними бойовими діями на території України та збільшенням кількості військових і цивільних із пораненнями ЩЛД. Для планування ефективної ортопедичної реабілітації у пацієнтів із втратою зубів внаслідок поранення ЩЛД перспективним напрямом є використання цифрових технологій.

Мета: визначити особливості сучасних цифрових підходів до діагностики та планування ортопедичної реабілітації пацієнтів із втратою зубів внаслідок поранення ЩЛД.

Результати та обговорення

Нині багато пацієнтів серед військовослужбовців і цивільних із втратою зубів після травматичних пошкоджень ЩЛД потребують втручання щелепно-лицьових хірургів, ортопедів, реабілітологів, ЛОР-спеціалістів, офтальмологів, неврологів і пластичних хірургів. Лікарі мають володіти теоретичним знаннями та практичними навичками для створення ефективного алгоритму діагностичних, лікувальних та реабілітаційних дій під час надання допомоги таким пацієнтам [1, 5].

Діагностика та лікування пацієнтів із пораненнями ЩЛД ускладнені, що спричинено не лише

втратою зубів як функціональних одиниць, а й часто — втратою альвеолярної кістки або навіть дефектами верхньої чи нижньої щелепи. Такі пацієнти потребують значно складнішої реабілітації порівняно з особами, які втратили зуби внаслідок ускладнень карієсу чи пародонтиту, оскільки у них спостерігається істотний дефіцит як кісткових структур, так і м'яких тканин. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування індивідуальних, мультидисциплінарних та інноваційних підходів до відновлення анатомічної цілісності, функціональності та естетики ЩЛД [2, 3, 6].

На першому етапі ортопедичної реабілітації проводять діагностику стану пацієнта для визначення ефективного плану стоматологічного лікування. У сучасній ортопедії використовують традиційні та цифрові методи діагностики (табл. 1). До традиційних методів діагностики у щелепно-лицьовій хірургії, ортопедії та загалом стоматології належать фізикальне обстеження, яке включає оцінювання стану порожнини рота, оклюзії, симетрії обличчя, наявності парестезій, стану скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС), діагностики наявних зубів та оцінювання дефектів. Також до традиційних додаткових методів діагностики належать рентгенологічне обстеження, а саме: панорамна рентгенографія, внутрішньоротові прицільні дентальні знімки з використанням радіовізіографії, а також комп'ютерна томографія (КТ), яка є золотим стандартом під час оцінювання об'єму кісткової тканини, локалізації переломів і плануванні хірургічного втручання. Цифрова оклюзіографія надає детальну інформацію про розподіл сили прикусу та функцію СНЩС, що дає можливість проводити більш цілеспрямоване та ефективне лікування.

Також ключовим елементом лікування поранених пацієнтів є хірургічне втручання, під час якого щелепно-лицьові хірурги часто використовують такі підходи: репозицію та фіксацію уламків із застосуванням міжщелепної фіксації або остеосинтезу металевими пластинами та гвинтами (за АО-технікою); пластику м'яких тканин для закриття ран та запобігання інфекції. Використовують кісткові аутотрансплантати (переважно з клубової кістки або підборіддя) для відновлення дефектів альвеолярного гребеня. Тому під час протезування таких пацієнтів ми маємо використовувати усі можливі та доступні методи діагностики [7–9].

Традиційні методи не завжди дають змогу досягти задовільного функціонального та естетичного результату у пацієнтів із втратою зубів після поранення, що зумовлює необхідність застосування сучасних цифрових технологій, 3D-моделювання та біоінженерних рішень.

Фотопротокол займає важливе місце в сучасній стоматологічній практиці, зокрема у протезуванні після поранень ЩЛД, оскільки забезпечує об'єктивну фіксацію клінічного стану пацієнта, полегшує планування лікування та сприяє комунікації між фахівцями. Фотопротокол — це фотографування обличчя та зубів цифровими фотоапаратами з макролінзами, де видно усі деталі, які є у протезному ложі. Як сучасне удосконалення цьому підходу застосовують позаротові сканери, які фіксують характеристики обличчя у тривимірному просторі. Такі технології вже доступні також у смартфонах через спеціалізоване програмне забезпечення (наприклад, KIRI Engine).

C. Coachman та співавт. [6] встановили, що висока роздільна здатність таких зображень дає можливість точно фіксувати морфологію зубів, стан м'яких тканин, наявність тріщин, фісур, кольорових змін або дрібних реставраційних дефектів, які не завжди виявляються під час клінічного огляду. У поєднанні з цифровими інструментами фотопротокол дає змогу створювати візуальні шаблони та брати участь у віртуальному моделюванні лікування (digital smile design), особливо в контексті відновлення функцій щелепно-лицьової системи та естетики обличчя після травм ЩЛД.

Згідно з дослідженням W. S. Lin та співавт. [8], використання фотопротоколів разом із внутрішньоротовим скануванням та конусно-променевою комп'ютерною томографією (КПКТ) підвищує точність діагностичних рішень і дає можливість краще інтегрувати клінічні та цифрові дані під час планування хірургічного лікування.

H. Salmassian та співавт. [9] зазначають, що у щелепно-лицьовій хірургії та під час протезування пацієнтів із травмами фотопротокол допомагає фіксувати не лише стан зубів, а й загальну симетрію обличчя, положення м'яких тканин, шкірні орієнтири та міміку та є незамінним у випадках складних реконструкцій, пов'язаних із травмами ЩЛД. Це дає змогу точно оцінювати перед- і післяопераційний стан пацієнта та створювати базу для цифрових моделей реконструкції. Як сучасне удосконалення позаротовому фотопротоколу на сьогодні існує позаротове сканування обличчя, яке може фіксувати характеристики обличчя у тривимірному просторі.

У галузі ортодонтії часто віддають перевагу 2D-орієнтуванню та цефалометричному аналізу через їх здатність отримувати значущі дані, які допомагають у розробленні ефективних стратегій лікування. B. Baldini та співавт. [10] зазначають, що у таких ситуаціях 3D-цефалометрія, синтезована на основі КПКТ-зображень зазвичай не рекомендується переважно через високий ризик

променевого навантаження. Водночас R. H. Wang та співавт. [11] наголошують, що 3D-цефалометрія має переваги у точності анатомічного розпізнавання та детальному структурному оцінюванні. Це особливо корисно, коли потрібне більш комплексне планування лікування, наприклад, у процесах цифрового планування щелепно-лицьової хірургії та ортопедичній реабілітації. У цих випадках традиційний 2D-знімок не може надати повної інформації [11]. Тоді як E. Sivari та співавт. [12], P. Folly [13], K. Krutovskyy та співавт. [14] вказують, що звичайні 2D-рентгенограми, переважно ортопантомограми, мають низку недоліків: обмеження інформації внаслідок анатомічного накладення та геометричних спотворень зображень із поганою видимістю; спотворення структур, що оточують ікла верхньої щелепи. Панорамний знімок є двовимірним, він дає плоске зображення обох щелеп. КТ-дослідження ж дає змогу отримати тривимірну модель (об'ємне зображення) усієї зубощелепно-лицьової системи, яке можна розглядати з різних боків, що допомагає стоматологам у плануванні хірургічного лікування (видаленні зубів, імплантації) та протезуванні [12–14].

Перевагами 2D-рентгенографії є доступність та економічність порівняно з іншими методами візуалізації, низьке променеве навантаження, що є важливим чинником, особливо під час повторних досліджень, процедура займає небагато часу та не потребує спеціальної підготовки пацієнта. Недоліками цього методу є відсутність тривимірної інформації, 2D-зображення не відображають глибину та просторові взаємовідносини анатомічних структур, що може ускладнити діагностику складних випадків у пацієнтів із втратою зубів після поранення ЩЛД. Можливе перекриття анатомічних елементів на зображенні, що знижує його інформативність. У деяких випадках 2D-рентгенографія може не виявити патологічні зміни, особливо на ранніх стадіях.

Перевагами тривимірної візуалізації з використанням КПКТ є об'ємне зображення анатомічних структур, що дає можливість детально оцінити їх розташування і стан. Метод дає змогу виявляти дрібні деталі та патологічні зміни, які можуть бути непомітними на 2D-зображеннях. Недоліками є висока вартість обладнання, що може обмежувати його використання, а також підвищене променеве навантаження (доза опромінення за КПКТ нижча, ніж за традиційної спіральної комп'ютерної томографії (СКТ), але вища, ніж за 2D-рентгенографії). Наявність металевих конструкцій у порожнині рота може спричинити артефакти на зображеннях [15].

У сучасній стоматології КПКТ вважається ефективним методом візуалізації для планування імплантації, особливо у випадках, що потребують високої деталізації анатомічних структур. Порівняно з СКТ, КПКТ забезпечує точніше тривимірне зображення з меншим променевим навантаженням, що є критичним для пацієнтів після поранення.

Однією з основних переваг КПКТ є її здатність до мультипланарної реконструкції, що дає можливість отримати високоякісні зображення без накладення структур. Це особливо важливо для пацієнтів після поранення ЩЛД під час оцінювання їх складних анатомічних ділянок, як-от зони з аугментованою кісткою, наявністю титанових гвинтів та пластин, а також під час виявлення дрібних сторонніх тіл. Дослідження показують, що КПКТ забезпечує точнішу візуалізацію щільності кісткової тканини, що допомагає краще оцінити якість кістки типу D4, яка характеризується низькою щільністю й пористістю. Крім того, КПКТ дає змогу створювати віртуальні хірургічні шаблони, які значно підвищують точність розміщення імплантатів, особливо у пацієнтів із травмами ЩЛД. Це сприяє зниженню ризику ускладнень та покращує прогноз лікування [16–18].

У комплексній діагностиці та реабілітації пацієнтів після поранень ЩЛД, особливо під час відновлення анатомічних структур, важливим інструментом є інтраоральне сканування зубних рядів, яке забезпечує точне та швидке отримання тривимірних цифрових відбитків зубних рядів і оточуючих тканин. Дослідження A. Almalik та співавт. [19] продемонструвало, що інтраоральні сканери забезпечують високу точність під час створення цифрових відбитків для постійних реставрацій, хоча точність може знижуватися за наявності великих беззубих ділянок та рухомих м'яких тканин у ділянках дефектів. Це підкреслює необхідність врахування особливостей клінічної ситуації під час вибору методу сканування. У нашій клінічній практиці ми виявили, що сканування ділянок з дефектом після поранень ЩЛД часто неможливе через надмірно рухомі м'які тканини. Таким чином, зубні імплантати можна встановлювати практично будь-де, якщо це дозволяє стан кісткової тканини, але необхідно заздалегідь виконати правильне фундаментальне планування, щоб остаточний протез на імплантаті відповідав прийнятному естетичного та функціональному профілю.

У систематичному огляді P. Gehrke та співавт. [20] проаналізовано чинники, які впливають на точність інтраорального сканування в імплантології, зокрема, дизайн і матеріал скан-абатментів, параметри зубних дефектів, довжину зубної дуги, наявність прикріплених ясен. Автори підкреслю-

ють, що вибір відповідних компонентів і стратегій сканування є критично важливим для досягнення оптимальних результатів.

На сьогодні інтеграція інтраоральних сканів із КПКТ дає змогу створювати точні комбіновані моделі зубощелепної системи. J. Нао та співавт. [21] запропонували автоматизовану систему, що поєднує КПКТ та інтраоральні скани для інтелектуальної 3D-реконструкції зубокісткових структур. Такий підхід може поліпшити планування та прогнозування результатів хірургічних втручань у хворих із втратою зубів після поранення.

Сучасні підходи до реабілітації зубощелепної системи передбачають використання дентальних імплантатів як основного методу відновлення втрачених зубів. Відповідно до численних клінічних досліджень, імплантаційне протезування визнано «золотим стандартом» у лікуванні як поодиноких дефектів зубного ряду, так і повної адентії. Метод забезпечує високу функціональну ефективність, естетичну стабільність і тривалий прогноз під час ортопедичної реабілітації. Особливої актуальності імплантологічна реабілітація набуває у пацієнтів після поранення ЩЛД. У таких випадках протезування на імплантатах дає можливість не лише відновити жувальну функцію та артикуляцію, а й підвищити якість життя та соціальну адаптацію.

Однак відновлення анатомічної цілісності зубного ряду у пацієнтів із бойовими пораненнями має низку особливостей. Найтипovішими є рухомі (нестабільні) м'які тканини ясен, зумовлені рубцевими змінами або хронічним запаленням, дефекти кісткової тканини альвеолярного відростка різної протяжності, конфігурації та щільності, а також наявність сторонніх тіл або металевих фіксаторів (пластини, гвинти) після попередніх реконструктивних втручань. Ці чинники значно ускладнюють первинне встановлення імплантатів і потребують ретельної підготовки операційного поля. У більшості випадків показане попереднє хірургічне втручання з метою відновлення об'єму кістки та стабілізації м'яких тканин. Для цього застосовують методику кісткової аугментації (аутогенне блокове трансплантування, вертикальна / горизонтальна спрямована регенерація кістки), а також пластику ясен з використанням автотрансплантатів або алотканин.

За E. Sivari та співавт. [12], T. P. Silva та співавт. [22], використання ШІ може сприяти розв'язанню питання щодо точності діагностики та планування лікування. S. T. Gokdeniz та K. Kamburoğlu [23] зазначають, що алгоритми ШІ аналізують великі набори даних, визначають закономірності та роблять прогнози, сприяючи підвищенню ефектив-

ності діагностики та створенню персоналізованих планів лікування. ШІ показав свою ефективність під час аналізу рентгенограм і прогнозування успіху імплантації зубів [23], що дає змогу застосовувати його у поранених військових. Алгоритми ШІ на основі згорткових систем можуть сегментувати окремі анатомічні структури з великою точністю, проте завжди слід звертати увагу на ступінь поранення та наданої хірургічної допомоги, оскільки великі реконструйовані ділянки часто можуть не розпізнаватись ШІ як частина досліджуваної ділянки, у такому разі лікарю необхідно в ручному режимі проводити корекцію.

R. H. Wang та співавт. [11] висвітлюють можливість застосування ШІ-зображення зубів для кількісного оцінювання, аналізу й автоматичного порівняння з визначеною нормою. У наукових роботах G. S. Duran та співавт. [24], D. D. Kilinc та співавт. [25], C. Gorurgoz та співавт. [26], G. Lombardo та співавт. [27] висвітлено питання підвищення точності діагностики та лікування пацієнтів зі складними стоматологічними проблемами за допомогою ШІ з цифровими засобами візуалізації, такими як КПКТ і цифрова рентгенографія.

Нині у стоматологічній практиці активно впроваджуються передові цифрові технології, зокрема CAD/CAM-системи (*Computer-Aided Design* — комп'ютерне проектування, *Computer-Aided Manufacturing* — комп'ютерне виготовлення), цифрові відбитки та 3D-друк. Система CAD охоплює програмне забезпечення, яке дає можливість створювати тривимірні віртуальні моделі стоматологічних конструкцій (коронки, мостів, оклюзійних шин тощо). Це забезпечує точне планування майбутньої реставрації з урахуванням індивідуальних анатомічних особливостей пацієнта. Система CAM відповідає за виготовлення фізичного об'єкта на основі цифрової моделі, зазвичай із застосуванням фрезерувальних або 3D-принтерних пристроїв. CAM-технологія дає змогу з високою точністю реалізувати віртуальний дизайн, створений у CAD-програмі, у вигляді готового протезу або елементів реставрації [28, 29]. Як зазначають V. Cin та співавт. [30], A. S. Alaoffey та співавт. [31], системи CAD/CAM дають змогу точніше виготовляти зубні протези та проводити естетичніші реставрації порівняно з традиційними методами, що робить можливим їх використання в ортопедичній реабілітації пацієнтів із пораненнями ЩЛД.

КПКТ-зображення забезпечують тривимірну анатомічну візуалізацію ЩЛД. Проте для повноцінного використання CAD/CAM-інструментів важливо також інтегрувати інформацію про стан м'яких тканин, зубних рядів та прикусу, яку надають інтраоральні сканери. Отримані за допомогою

сканерів цифрові відбитки (оптичні скани) відтворюють точну тривимірну поверхневу модель зубів та оточуючих структур у форматі STL-файлів [28, 29, 32].

Цифрові відбитки, зроблені внутрішньоротовими сканерами, замінили звичайні та часто незручні відбиткові матеріали, надаючи точні дані для виготовлення протезів і зменшуючи дискомфорт пацієнта. Так, M. Tallarico та співавт. [33], F. D'Ambrosio та співавт. [34] встановили, що під час виготовлення коронок з опорою на імплантати та незнімних зубних протезів системи цифрових відбитків забезпечують клінічно прийнятну посадку. У дослідженнях P. Ahlholm та співавт. [35] точність граничної посадки для звичайних відбитків становила 173,0 і 133,5 мкм, цифрових — 111,4 і 80,2 мкм. Проте під час роботи з військовими пораненими пацієнтами створити цифровий відбиток через інтраоральне сканування неможливо через велику кількість м'яких тканин, тому єдиним варіантом у таких умовах є аналоговий відбиток.

CAD-програми використовують для моделювання реставрацій в ортопедичній стоматології, у тому числі й під час реабілітації пацієнтів з пораненнями ЩЛД. Це дає змогу створювати хірургічні шаблони для імплантації, планувати ортопедичну реабілітацію з урахуванням оклюзійних співвідношень, виготовляти індивідуальні ортопедичні конструкції, мінімізувати похибки людського чинника та підвищувати ефективність лікування. Разом із тим застосовують різноманітні платформи для цифрового оброблення даних. Однією з таких є високотехнологічний інструмент Exocad Dental CAD. Завдяки простоті в роботі, широкому вибору функцій і своїй відкритій архітектурі, він є ефективним для розроблення індивідуальних протезів та планування імплантацій [30]. Тоді як програма Dentsply Sirona CEREC, за даними S. Fieldhouse [36], дає змогу виконувати цифрові відбитки, дизайни коронок, що необхідно для створення одиничних зубних протезів.

Крім того, з програм, що використовують під час виготовлення зубних протезів для пацієнтів після поранень ЩЛД, можна виділити Blue Sky Plan (дозволяє оптимізувати позиціювання імплантатів), Nobel Biocare (проектування імплантатів та протезів), Meshmixer (розроблення індивідуальних протезів), 3Shape TRIOS (зняття прямих оптичних відбитків для виготовлення протезів), Dental Wings (проектування та виготовлення протезів, мостів, коронок та ін.). Слід зазначити, що оновлення програмного забезпечення може значно підвищити точність інтраоральних сканерів. Так, J. Schmalzl та співавт. [37] зазначають, що найновіша модель внутрішньоротових

сканерів із останнім програмним забезпеченням 3Shape TRIOS 4 досягла найвищої точності цифрових відбитків повної дуги ($31,06 \pm 5,24$ мкм) порівняно з параметром 3Shape TRIOS 3 (сканер старішого покоління із застарілим програмним забезпеченням).

Упровадження 3D-візуалізації та моделювання покращило розуміння та лікування пацієнтів із втратою зубів внаслідок поранення ЩЛД. Ці технології дають можливість стоматологам спостерігати за складною клінічною ситуацією ЩЛД, розробляти стратегію ефективної ортопедичної реабілітації та робити точніші прогнози щодо результатів після операції [38].

Застосування цифрових ортопедичних технологій на пацієнтах, які втратили зуби внаслідок поранення ЩЛД, забезпечує:

- *Підвищення точності діагностики* — висока точність візуалізації, краще оцінення структури ЩЛД та виявлення ураження.
- *Персоналізоване лікування* — 3D-моделюванням можна створити індивідуальні моделі протезів або інших ортопедичних конструкцій, які враховують специфічні анатомічні особливості пацієнта на етапі ортопедичної реабілітації після поранення ЩЛД.
- *Ефективне планування та прогнозування результатів* — планування ортопедичного лікування, оцінення різних варіантів лікування і їх можливі результати.
- *Моніторинг прогресу* — визначення стану пацієнта під час реабілітації, що дає можливість своєчасно коригувати план лікування пацієнтів із втратою зубів після поранення залежно від результатів.
- *Скорочення часу лікування* — процеси, які раніше вимагали багато часу, автоматизуються й оптимізуються, що прискорює загальний процес реабілітації після поранення ЩЛД.
- *Зменшення кількості візитів до стоматолога*, що зручніше для пацієнтів під час ортопедичної реабілітації.
- *Безпеку та мінімальні ускладнення* — точне планування і використання хірургічних шаблонів знижують кількість ризиків пошкодження сусідніх зубів і нервів, що значно зменшує можливість ускладнень і вимог до післяопераційної реабілітації пацієнтів після поранень.
- *Можливість створення складних структур*, які були б складно або навіть неможливо відтворити традиційними методами; це дає стоматологам змогу вирішувати складні клінічні випадки, такі як втрата зубів із кісткою, несхідність щелеп, пів щелепи, і надавати таким пацієнтам більш висококваліфіковану ортопедичну допомогу.

• *Зручність для пацієнтів* — процес протезування комфортніший для пацієнтів із втратою зубів після поранення. Інтраоральні сканери спричинюють менше дискомфорту і тривожності у пацієнтів, ніж традиційні відбитки. Пацієнтам не доводиться довго чекати на результати, а також здійснювати зайві візити до стоматолога.

Висновки

Аналіз літературних даних щодо питання цифрових ортопедичних методів діагностики у пацієнтів, які втратили зуби внаслідок поранення, показав, що ШІ розширює діагностичні та лікувальні можливості на сьогодні. Різні види КТ, інтраорального сканування, цифрової оклюзіографії та сучасні цифрові програми і платформи забезпечують розроблення індивідуальних планів лікування, точніше планування ортопедичної реабілітації та підвищення її ефективності.

Традиційні методи є основою практики за обмежених ресурсів або невеликих дефектів, однак сучасні технології значно розширюють можливості діагностики та ортопедичного лікування, особливо у разі масивних дефектів ЩЛД після травм. Інтеграція цифрових рішень забезпечує вищу точність, передбачуваність і мультидисциплінарну координацію.

Перспективи подальших досліджень

Інтенсивний розвиток цифрових технологій та їх впровадження може сприяти значній трансформації стоматологічної реабілітації у разі поранень ЩЛД. Тому впровадження нових цифрових підходів, таких як ШІ, нейромереж та інших інноваційних методів, є актуальним питанням подальших досліджень для лікарів цієї галузі.

Конфлікт інтересів: відсутній.

ПОСИЛАННЯ (REFERENCES)

1. Wei, X., Du, Y., Zhou, X. et al. (2023). Expert consensus on digital guided therapy for endodontic diseases. *Int J Oral Sci*, 15(1): 54. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00261-0>. PMID: 38052782. PMCID: PMC10697975
2. Franco, R., Minervini, G. (2024). Digitalization, technologies, new approaches, and telemedicine in dentistry and craniofacial / temporomandibular disorders. *Appl Sci*, 14(13), 5871. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14135871>.
3. Alqahtani, J., Alhemaïd, G., Alqahtani, H. et al. (2022). Digital diagnostics and orthodontic practice. *J Health Sci*, 2: 112–117. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14135871>.
4. Mykhailenko, A.O. (2023). Reconstructive surgeries in the maxillofacial region. Description of clinical cases. *Ukrainian scientific medical youth journal*, 1(137): 102–103 [Михайленко, А.О. (2023). Реконструктивні операції в щелепно-лицьовій ділянці. Опис клінічних випадків. *Ukrainian scientific medical youth journal*, 1(137), 102–103]. URL: <https://mmj.nmuofficial.com/index.php/journal/article/view/45>].
5. Department of Maxillofacial Therapy, Institute of Postgraduate Education, O. O. Bogomolets National Medical University [Кафедра щелепно-лицьової терапії Інституту післядипломної освіти Національного медичного університету імені О. О. Богомольця]. URL: <https://www.maxillofacial.education/kafedra/>
6. Coachman, C., Calamita, M.A., Sesma, N. (2017). Dynamic documentation of the smile and the 2D/3D digital smile design process. *Int J Periodont Restorat Dent*, 37(2): 183–193. DOI: <https://doi.org/10.11607/prd.2911>. PMID: 28196157
7. Minervini, G., Franco, R., Marrapodi, M. M. et al. (2023). Conservative treatment of temporomandibular joint condylar fractures: A systematic review conducted according to PRISMA guidelines and the cochrane handbook for systematic reviews of interventions. *J Oral Rehabil*. 50: 886–893. DOI: <https://doi.org/10.1111/joor.13497>. PMID: 37191365
8. Lin, W.S., Harris, B.T., Elathamna, E.N., Morton, D. (2021). Integrating clinical photography, intraoral scanning, and CBCT in digital dentistry: A comprehensive workflow for restorative and surgical planning. *J Prosthodontics*, 30(6): 500–508. DOI: <https://doi.org/10.1111/jopr.13296>. PMID: 33215755
9. Salmassian, H., Becker, M., Brown, S., Ackerman, M.B. (2023). Clinical facial photography in orthodontics and maxillofacial surgery: Current concepts and digital evolution. *Oral Maxillofac Surg Clin North America*, 35(2): 261–274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coms.2022.11.004>.
10. Baldini, B., Cavagnetto, D., Baselli, G., Sforza, C., Tartaglia, G.M. (2022). Cephalometric measurements performed on CBCT and reconstructed lateral cephalograms: A cross-sectional study providing a quantitative approach of differences and bias. *BMC Oral Health*, 22(1): 98. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02131-3>. PMID: 35351080. PMCID: PMC8966183
11. Wang, R.H., Ho, C.T., Lin, H.H., Lo, L.J. (2020). Three-dimensional cephalometry for orthognathic planning: Normative data and analyses. *J Formos Med Assoc*, 119: 191–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2019.04.001>. PMID: 31003919

12. Sivari, E., Senirkentli, G.B., Bostanci, E. et al. (2023). Deep learning in diagnosis of dental anomalies and diseases: A systematic review. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 13(15): 2512. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152512>. PMID: 37568875 PMCID: PMC10416832
13. Folly, P. (2021). Imaging techniques in dental radiology: Acquisition, anatomic analysis and interpretation of radiographic images. *BDJ Stud*, 28: 11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41406-021-0258-7>.
14. Krymovskyy, K., Mileschenko, A., Brychko, T. (2024). Is it possible to completely replace traditional cephalometric analyses with 3D cephalometrics based on artificial intelligence shortly? (Systematicreview). *Archive of Ophthalmology and Maxillofacial Surgery of Ukraine*, 1(1): 43–53. DOI: <https://doi.org/10.22141/aomfs.1.1.2024.9>.
15. Unsal, G.S., Turkyilmaz, I., Lakhia, S. (2020). Advantages and limitations of implant surgery with CAD/CAM surgical guides: A literature review. *J Clin Exp Dent*, 12(4): e409–e417. DOI: <https://doi.org/10.4317/jced.55871>. PMID: 32382391 PMCID: PMC7195681
16. Alauddin, M.S., Baharuddin, A.S., Mohd Ghazali, M.I. (2021). The modern and digital transformation of oral health care: A mini review. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 9(2): 118. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare9020118>. PMID: 33503807. PMCID: PMC7912705
17. Abdelaziz, M.S., Elshikh, E.M. (2024). Digital design of a hybrid bone and tooth-supported surgical guide in patients with unilateral few remaining natural teeth: a dental technique. *BMC Res*, 17(1): 80. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13104-024-06738-3>. PMID: 38500215. PMCID: PMC10949771
18. Parekar, D., Selvaganesh, S., Nesappan, T. (2024). Comparative evaluation of accuracy of adjacent parallel implant placements between dynamic navigation and static guide: A prospective study. *Cureus*, 16(3): e57331. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.57331>.
19. Almalki, A., Conejo, J., Kutkut, N. et al. (2024). Evaluation of the accuracy of direct intraoral scanner impressions for digital post and core in various post lengths: An in-vitro study. *J Esthet Restor Dent*, 36(4): 673–679. DOI: <https://doi.org/10.1111/jerd.13159>. PMID: 37921014
20. Gehrke, P., Rashidpour, M., Sader, R., Özcan, M. (2024). A systematic review of factors impacting intraoral scanning accuracy in implant dentistry with emphasis on scan bodies. *Int J Implant Dent*, 10: 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40729-024-00543-0>. PMID: 38691258. PMCID: PMC11063012
21. Hao, J., Liu, J., Li, J. et al. (2022). AI-enabled automatic multimodal fusion of cone-beam CT and intraoral scans for intelligent 3D tooth-bone reconstruction and clinical applications. *Arxiv preprint*. URL: <https://arxiv.org/abs/2203.05784>. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1472915/v1>
22. Silva, T.P., Hughes, M.M., Menezes, L.D.S. et al. (2022). Artificial intelligence-based cephalometric landmark annotation and measurements according to Arnett's analysis: Can we trust a bot to do that? *Dentomaxillofac Radiol*, 51(6), 20200548. DOI: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20200548>. PMID: 33882247. PMCID: PMC10043619
23. Gokdeniz, S.T., Kamburoğlu, K. (2022). Artificial intelligence in dentomaxillofacial radiology. *World J Radiol*, 14(3): 55–59. DOI: <https://doi.org/10.4329/wjr.v14.i3.55>. PMID: 35432776. PMCID: PMC8966498
24. Duran, G.S., Gökmen, Ş., Topsakal, K.G., Görgülü, S. (2023). Evaluation of the accuracy of fully automatic cephalometric analysis software with artificial intelligence algorithm. *Orthod Craniofacial Res*, 26: 481–490. DOI: <https://doi.org/10.1111/ocr.12633>. PMID: 36648374
25. Kılınc, D.D., Kircelli, B.H., Sadry, S., Karaman, A. (2022). Evaluation and comparison of smartphone application tracing, web based artificial intelligence tracing and conventional hand tracing methods. *J Stomatol, Oral Maxillofac Surg*, 123(6): e906–e915. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2022.07.017>. PMID: 35901950
26. Gorurgoz, C., Icen, M., Kurt, M. et al. (2023). Degenerative changes of the mandibular condyle in relation to the temporomandibular joint space, gender and age: A multicenter CBCT study. *Dent Med Problems*, 60(1). DOI: <https://doi.org/10.17219/dmp/147514>. PMID: 37023340
27. Lombardo, G., Signoriello, A., Marincola, M. et al. (2023). Five-year follow-up of 8- and 6-mm locking-taper implants treated with a reconstructive surgical protocol for peri-implantitis: A retrospective evaluation. *Prosthesis*, 5(4): 1322–1342. DOI: <https://doi.org/10.3390/prosthesis5040091>.
28. Mangano, F., Veronesi, G., Hauschild, U., Mijiritsky, E., Mangano, C. (2020). Trueness and precision of four intraoral scanners in oral implantology: A comparative in vitro study. *PLoS One*, 15(9): e0238581. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238581>. PMID: 32881948. PMCID: PMC7470335
29. Kwon, J.H., Kim, Y.K., Lee, H., Kim, S.G. (2022). Accuracy of computer-assisted surgery in implant placement using the CAD/CAM system: A randomized controlled clinical study. *Clin Oral Implants Res*, 33(5): 476–484. DOI: <https://doi.org/10.1111/clr.13874>. PMID: 34881822. PMCID: PMC9394592
30. Cin, V., İzgi, A.D., Kale, E., Yılmaz, B. (2023). Marginal and internal fit of monolithic zirconia crowns fabricated by using two different cad-cam workflows: An in vitro study. *Prosthesis*, 5(1): 35–47. DOI: <https://doi.org/10.3390/prosthesis5010003>.

31. Alaoffey, A.S., Asiri, M.A., Alhazmi, T.A.A. et al. (2024). Digital dentistry: transforming diagnosis and treatment planning through CAD/CAM and 3D printing. *Egypt J Chem*, 67(13): 1177–1190. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejchem.2024.332979.10717>.
32. Jung, R.E., Zitzmann, N.U., Hammerle, C.H.F. (2021). Cone beam computed tomography and guided implant surgery: A review. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 36(2): 243–253. DOI: <https://doi.org/10.11607/jomi.8910>.
33. Tallarico, M., Cuccu, M., Meloni, S.M. et al. (2023). Digital analysis of a novel impression method named the biological-oriented digital impression technique: A clinical audit. *Prosthesis*, 5(4): 992–1001. DOI: <https://doi.org/10.3390/prosthesis5040068>.
34. D'Ambrosio, F., Giordano, F., Sangiovanni, G., Di Palo, M.P., Amato, M. (2023). Conventional versus digital dental impression techniques: What is the future? An Umbrella Review. *Prosthesis*, 5(3): 851–875. DOI: <https://doi.org/10.3390/prosthesis5030060>.
35. Ahlholm, P., Sipilä, K., Vallittu, P., Jakonen, M., Kotiranta, U. (2018). Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: A review. *J Prosthodont*, 27: 35–41. DOI: <https://doi.org/10.1111/jopr.12527>. PMID: 27483210
36. Fieldhouse, S. (2021). CAD/CAM in dentistry. Materials and methods: an overview for the dental team. *Dental Update*, 48(8). DOI: <https://doi.org/10.12968/denu.2021.48.8.671>.
37. Schmalzl, J., Róth, I., Borbély, J. et al. (2023). The impact of software updates on accuracy of intraoral scanners. *BMC Oral Health*, 23: 219. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02926-y>. PMID: 37061664. PMCID: PMC10105929
38. Barayan, M.A., Qawas, A.A., Alghamdi, A.S. et al. (2022). Effectiveness of machine learning in assessing the diagnostic quality of bitewing radiographs. *Appl Sci*, 12(19): 9588. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12199588>.

Modern Digital Approaches to Diagnosis and Planning of Orthopedic Rehabilitation in Patients with Tooth Loss due to Maxillofacial Injuries (Literature Review)

Brozhyna, B.

Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Topicality. The article addresses the current issue of the unique characteristics of modern digital approaches to diagnosing and planning orthopedic rehabilitation in patients with maxillofacial region injuries resulting in tooth loss. This issue is becoming more urgent as a result of active hostilities in Ukraine and the growing number of military and civilians with injuries to the maxillofacial area. For effective rehabilitation, digital technologies can be used with traditional diagnostic methods. It has been shown that digital approaches and technologies have been actively developing recently, their implementation is becoming more widespread, and they are actively transforming dental and craniofacial medicine.

The introduction of artificial intelligence into prosthetic dentistry for the rehabilitation of patients with maxillofacial area injuries can enhance the accuracy of diagnosis and simplify treatment planning. Additionally, it will facilitate the development of a personalized approach to orthopedic rehabilitation planning through digital analysis of diagnostic data, enabling the determination of effective orthopedic interventions for each patient with tooth loss resulting from maxillofacial injuries. A personalized digital dental passport encoded using digital technologies can provide rehabilitation and manufacture of prostheses based on 3D-printed dental biomaterials. The paper discusses the use of 3D scanners and CAD/CAM technologies, which involve digital programs (Dentsply Sirona CEREC, 3Shape TRIOS, Exocad, Blue Sky Plan, Nobel Biocare, Mesh mixer, Dental Wings), to improve the accuracy of diagnosis, planning, and manufacturing of prostheses.

Thus, the analysis of the possibilities of orthopedic diagnostic methods for patients who have lost their teeth due to injury has shown that artificial intelligence is expanding diagnostic and treatment capabilities. Thanks to various types of computed tomography, intraoral scanning, digital occlusiography, and modern digital programs and platforms, it is possible to develop individualized treatment plans, plan orthopedic rehabilitation more accurately, and increase its effectiveness. Therefore, the introduction of these technologies can help improve medical outcomes, increase patient satisfaction, and increase the efficiency of the healthcare system.

Keywords: *gastroesophageal reflux disease, damage to hard dental tissues, bruxism, obstructive sleep apnea.*

Брожина Богдан Володимирович — аспірант кафедри терапевтичної стоматології Національного університету охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5771-9895>

Стаття: надійшла до редакції 25.04.2025 р.; прийнята до друку 18.06.2025 р.