

УДК 616.314-089.843-074

DOI <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2025-2-23>

Ігор ТУКАЛО

аспірант кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», tukaloigor@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8431-8133

Артур ЛЯХ

аспірант кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», artur.liakh@uzhnu.edu.ua

ORCID: 0009-0004-7987-2772

Мирослав ГОНЧАРУК-ХОМИН

доктор філософії, доцент, завідувач кафедри терапевтичної стоматології, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», myroslav.goncharuk-khomyn@uzhnu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-7482-3881

ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТОЧНОСТІ РЕЄСТРАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ ДЕНТАЛЬНИХ ІМПЛАНТАТІВ В ХОДІ ІНТРАОРАЛЬНОГО СКАНУВАННЯ: КЛІНІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ

Доступні на сьогодні підходи до оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів в ході інтраорального сканування передбачають можливості застосування додаткових засобів та інструментів, залучення технології трьохмірного друку, перехід на нові методи сканування, які можуть потребувати покупки додаткового апаратного чи програмного забезпечення, що ускладнює можливість їх широкого впровадження в клінічну стоматологічну практику з аргументованим рівнем витратоефективності. Враховуючи це, релевантним залишається пошук та розробка методик, які орієнтовані на вдосконалення власне стратегій та підходів інтраорального сканування за рахунок підручних засобів та базуючись на принципах побудови та реконструкції зображень отриманих з використанням внутрішньоротового сканера.

Мета. Проаналізувати існуючі підходи до оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів в ході процедури інтраорального сканування та оцінити рівні застосовуваності таких на основі фактичних клінічних спостережень, встановити можливості та доцільність їх практичного впровадження.

Методи. Клінічний етап дослідження передбачав аналіз 58 випадків інтраорального сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах, які були проведені в межах клінічних баз стоматологічного факультету ДВНЗ «Ужгородський національний університет». В ході аналізу випадків сканування до уваги приймалися застосовані стратегії сканування та модифікації таких на основі клінічного досвіду лікарів, які потенційно могли сприяти оптимізації рівнів точності реєстрації положення дентальних імплантатів в структурі отриманих цифрових відбитків. Аналітичний етап дослідження передбачав ретроспективний огляд літературних джерел, присвячених вивченню варіацій рівнів правдивості та прецизійності інтраоральних сканів при модифікації підходів до інтраорального сканування з метою оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів.

Результати. Аналіз 58 випадків інтраорального сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах дозволив встановити наступні особливості процесу сканування, які потенційно сприяли оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів: у 86,20% випадків – зміна оригінальних запропонованих виробником інтраорального сканера стратегій сканування; у 48,27% випадків – реалізація процесу сканування відразу з зафіксованими скан-абатментами (без отримання попереднього скану з беззубої щелепи до фіксації скан-абатментів); у 65,51% випадків – використання з метою умовного шинування чи окремого фідуціарного маркера матеріалів світлової полімеризації на основі рідких смол; у 13,79% випадків – використання незалежних спеціалізованих фідуціарних маркерів з системою адгезивного кріплення на слизову; у 24,13% випадків – блокування стабільно-відсканованого фрагменту перед деталізованим доскановуванням кожного окремого скан-абатменту в програмному забезпеченні.

Висновки. В результаті проведеного спостереження за практичними випадками інтраорального сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах було відмічено, що найчастіше з метою покращення якості та точності цифрового відбитку лікарі в клінічній діяльності послуговувалися опціями зміни оригінальних запропонованих виробником інтраорального сканера стратегій сканування та забезпеченням максимально-можливої сухості робочого поля з використанням рельєфу нерухомої слизової для неперервності процесу сканування, а також використанням з метою забезпечення принципу безперервного процесу сканування матеріалів світлової полімеризації на основі рідких смол, які або виконували функцію

неспецифічних незалежних фідуціарних маркерів, або ж використовувались для з'єднання окремих скан-абатментів, імітуючи реалізацію стратегії продовжуваного/безперервного сканування. Найчастіше модифікації стратегій сканування були представлені реалізацією зигзагоподібних рухів та таких, які забезпечували окружний/круговий патерн навколо скан-абатментів з доскановуванням.

Ключові слова: інтраоральне сканування, дентальні імплантати, ортопедична реабілітація, адентія, ортопедичні конструкції, протези, коронки, скан-абатменти, точність.

Ihor Tukalo, Artur Liakh, Myroslav Goncharuk-Khomyn. PRACTICAL APPROACHES FOR THE ACCURACY OPTIMIZATION OF DENTAL IMPLANTS' POSITION REGISTRATION DURING INTRAORAL SCANNING PROCEDURE: CLINICAL OBSERVATIONS REGARDING USAGE

Currently available approaches used for the optimization of registration accuracy of dental implants' position during intraoral scanning involve the use of additional tools and instruments, use of three-dimensional printing technology, and transition to the new scanning methods that may require the purchase of additional hardware or software, which complicates the possibility of their widespread implementation in clinical dental practice with a reasonable level of cost-effectiveness. Given this, it remains relevant to search for and develop methods that are focused on improving the strategies and approaches of intraoral scanning itself using available tools and taking into account the principles of constructing and reconstructing images obtained using an intraoral scanner.

Objective. To analyze existing approaches for the accuracy optimization of dental implants' position registration during the intraoral scanning procedure and assess frequency of using such based on actual clinical observations, while also to evaluate the possibilities and feasibility of their practical implementation.

Methods. Clinical part of the study involved the analysis of 58 cases of intraoral scanning during the total rehabilitations of dental patients with dentures supported by dental implants, which were carried out within the clinical bases of the Faculty of Dentistry of the State Higher Educational Institution «Uzhgorod National University». During the analysis of the scanning cases, the applied scanning strategies and modifications of such based on the clinical experience of doctors were taken into account, which could potentially contribute to accuracy optimization of dental implants' position registration on edentulous jaws in the structure of the obtained digital impressions. Analytical part of the study involved retrospective review of literature devoted to the study of variations in the levels of trueness and precision of intraoral scans during the modifications of approaches used for intraoral scanning in order to optimize the accuracy of registering the position of dental implants on edentulous jaws.

Results. Analysis of 58 cases of intraoral scanning obtained during the total rehabilitation of dental patients with prosthetic constructions supported by dental implants revealed following features of the scanning process, which contributed to the accuracy optimization of dental implants' position registration: in 86,20% of cases changes to the scanning strategies originally proposed by the manufacturer of the intraoral scanner were applied; in 48,27% of cases implementation of the scanning process immediately with fixed scan abutments (without obtaining a preliminary scan from the edentulous jaw before fixing the scan abutments) was provided; in 65,51% of cases light polymerization liquid resins were used for the purpose of conditional splinting or as separate fiducial marker; in 13,79% of cases independent specialized fiducial markers with an adhesive attachment system to the mucosa were used; in 24,61% of cases approach with blocking of a stably scanned fragment before detailed scanning of each individual scan-abutment within the software was applied.

Conclusions. The results of the observations held among practical cases of intraoral scanning during the total rehabilitation of dental patients with prosthetic constructions supported by dental implants have shown that most often, in order to improve the quality and accuracy of the scan, dentists in their clinical practice used the options of changing scanning strategies originally proposed by the manufacturer of the intraoral scanner, ensuring the maximum possible dryness of the working field using the relief of the immobile mucosa for the continuity of the scanning process, as well as using, in order to ensure the continuous scanning process, light-curing materials based on liquid resins, which either performed the function of non-specific independent fiducial markers, or were used to connect individual scan abutments, simulating the implementation of the continuous/ongoing scanning strategy. Most often, modifications of scanning strategies were represented by the implementation of zigzag movements and those that provided a circumferential/circular pattern around the scan abutments.

Key words: intraoral scanning, dental implants, prosthetic rehabilitations, edentulism, prosthetic constructions, dentures, crowns, scan-abutments, accuracy.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Зростання поширеності використання цифрового протоколу стоматологічної реабілітації ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах пов'язано із прогресуючим вдосконаленням стоматологічних технологій, орієнтованих на максимально точне відтворення специфічних умов кожної окремої клінічної ситуації в цифровому середовищі з можливістю проведення подальшого деталізованого аналізу таких, та адаптацією протоколу лікування з урахуванням індивідуальних особливостей змін стоматологічного статусу пацієнтів та прийняттям до уваги персоналізованих запитів останніх [9; 10; 15; 16].

Обсяг доказової бази щодо успішності імплементації окремих елементів чи цілісного цифрового протоколу реабілітації стоматологічних хворих в практичну клінічну діяльність дозволяє констатувати аналогічну, а в окремих випадках і вищу ефективність такого в порівнянні з класичними аналоговими підходами [7; 8]. За даними систематичного огляду та супровідного аналізу Vieira F. та колег рівень виживання незнімних ортопедичних конструкцій, виготовлених на основі аналогових еластомерних відбитків та цифрових інтраоральних сканів, статистично не відрізняється, але при цьому автори відмітили, що цифрові відбитки характеризуються вищою потребою у повторному

отриманні через потенційні дефекти та недостатню якість сканів, відмічені в умовах реєстрації положення скан-абатментів при повній адентії [23]. Випадки інтраорального сканування беззубих щелеп або ж дефектів зубного ряду значної протяжності з метою реєстрації розміщення дентальних імплантатів за координатним положень зафіксованих скан-абатментів залишаються найбільш проблематичними з точки зору їх коректної реалізації для забезпечення належної точності цифрового відбитку [31].

В попередніх дослідженнях було відмічено, що основними факторами, які визначають точність інтраорального сканування для реєстрації координатного положення дентальних імплантатів, виходячи з позицій скан-абатментів, в умовах беззубих верхніх чи нижніх щелеп, є відстань між імплантатами, дизайн скан-маркера, використовуваний патерн сканування, а також досвід оператора [33].

З метою оптимізації вибору методики до інтраоральної реєстрації положення дентальних імплантатів в умовах беззубих щелеп при використанні цифрових інструментів, було запропоновано декілька підходів, котрі умовно можна класифікувати на такі, які провадяться на основі встановлених скан-маркерів без їх шинування, з шинуванням таких, однак без калібрації самого скан-сплінта, із застосуванням каліброваного скан-сплінта, із застосуванням каліброваних скан-абатментів, та шляхом реалізації техніки реверсивного відбитка [6].

Доступні на сьогодні дані вказують на те, що підходи, котрі передбачають шинування скан-абатментів, використання каліброваних скан-сплїнтів, каліброваних скан-абатментів, а також методів позаротової та внутрішньоротової фотограмметрії дозволяють досягти вищих рівнів точності щодо координатної реєстрації та подальшого відтворення в цифровому середовищі положення встановлених дентальних імплантатів, однак для реалізації вищезгаданих методик необхідним є застосування додаткових засобів та інструментів, залучення технології трьохмірного друку, перехід на нові пристрої для сканування, які можуть передбачати покупку додаткового апаратного чи програмного забезпечення, що ускладнює можливість їх широкого впровадження в клінічну стоматологічну практику з аргументованим рівнем витратоефективності.

Враховуючи це, релевантним залишається пошук та розробка методик, які орієнтовані на вдосконалення власне стратегій та підходів інтраорального сканування за рахунок підручних засобів та з врахуванням принципів побудови та реконструкції зображень отриманих з використанням внутрішньоротового сканера, для досягнення

вищих показників правдивості та прецизійності цифрових відбитків при реєстрації положення дентальних імплантатів.

Мета. Проаналізувати існуючі підходи до оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів в ході процедури інтраорального сканування беззубих щелеп та ділянок адентії значної протяжності, а також оцінити рівні застосовуваності таких на основі фактичних клінічних спостережень, встановити можливості та доцільність їх практичного впровадження.

Матеріали та методи. Дизайн дослідження передбачав реалізацію двох складових: аналітичного етапу у формі ретроспективного огляду літератури та клінічного етапу у формі систематизації реальних клінічних спостережень, котрі асоційовані з різними прикладними можливостями до оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів в ході процедури інтраорального сканування.

Клінічний етап дослідження передбачав аналіз 58 випадків інтраорального сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах, які були проведені в межах клінічних баз стоматологічного факультету ДВНЗ «Ужгородський національний університет» (стоматологічна клініка «Vitrus» та стоматологічна клініка «ДМ», м. Ужгород). В ході аналізу випадків сканування до уваги приймалися застосовані стратегії сканування та модифікації таких на основі клінічного досвіду лікарів, які потенційно могли сприяти оптимізації рівнів точності реєстрації положення дентальних імплантатів в структурі отриманих цифрових відбитків. Проводилось порівняння відповідності практично застосованих підходів до оптимізації якості цифрових відбитків у випадках реєстрації положення дентальних імплантатів, та таких попередньо описаних в літературі.

Аналітичний етап дослідження передбачав ретроспективний огляд літературних джерел, присвячених вивченню варіацій рівнів правдивості та прецизійності інтраоральних сканів при модифікації підходів до інтраорального сканування з метою оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів на беззубих щелепа. Пошук джерел був проведений у двох пошукових системах: базі даних PubMed Central (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/>), а також з використанням сервісу Google Scholar.

Пошуковий запит у базі даних PubMed Central був представлений наступним чином: «intraoral[All Fields] AND scanner[All Fields] AND ("dental implants"[Supplementary Concept] OR "dental implants"[All Fields] OR "dental implant"[All Fields] OR "dental implants"[MeSH Terms] OR ("dental"[All

Fields] AND "implants"[All Fields]) OR ("dental"[All Fields] AND "implant"[All Fields])) AND full[All Fields] AND "arch"[All Fields] AND impression[All Fields]». У системі Google Scholar були застосовані функції розширеного пошуку та наступний набір ключових слів: «intraoral scanner», «dental implant», «full arch», «digital impression». Критерій глибини пошуку не застосовувався, але до уваги приймалися лише наукові роботи, опубліковані англійською мовою. Статті, ідентифіковані через сервіс Google Scholar, які представляли собою дублікати статей уже ідентифікованих через систему PubMed Central, були виключені із первинної когорти ще до початку збору бібліографічних даних. Бібліографічна інформація наукових публікацій, котрі були інтерпретовані в ході пошуку у якості оригінальних, була в подальшому структурована у табличному редакторі Microsoft Excel 2019 (Microsoft Office 2019, Microsoft Corp., USA) для оптимізації процесу контент-аналізу змісту резюме відібраних статей для оцінки рівня їх афіліації із поставленою метою дослідження. При невідповідності інформації представленій у резюме публікації меті поставленого дослідження, такі виключались із первинної когорти і не підлягали подальшому контент-аналізу.

Категорії контент-аналізу повного змісту цитованих наукових робіт, пов'язаних із метою даного дослідження, були представлені наступними:

- параметри оцінки точності внутрішньоротових сканів, а також їх зміни при модифікації стратегій інтраорального сканування, а також при використанні різних технологій сканування у випадках реєстрації положення дентальних імплантатів на беззубих щелепах та в проекції ділянок адентії значної протяжності;
- параметри оцінки точності інтраоральних сканів, а також їх зміни при застосуванні різних конфігурацій скан-абатментів у випадках реєстрації положення дентальних імплантатів на беззубих щелепах та в проекції ділянок адентії значної протяжності з використання внутрішньоротового сканування;
- зміни рівнів точності інтраоральних сканів при застосуванні додаткових елементів, котрі не входять до оригінальної комплектації системи інтраорального сканування, для оптимізації рівнів точності реєстрації положення дентальних імплантатів на беззубих щелепах та в проекції ділянок адентії значної протяжності.

Групування даних, котрі стосувалися показників правдивості та прецизійності, а також інформації щодо модифікацій стратегії сканування проводилось у табличному редакторі Microsoft Excel 2019 (Microsoft Office 2019, Microsoft Corp., США) з урахуванням відповідності сформульованим категоріям

контент-аналізу та специфіки запропонованих підходів.

Результати та їх обговорення. Аналіз 58 випадків інтраорального сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах, які були проведені в межах клінічних баз стоматологічного факультету ДВНЗ «Ужгородський національний університет», дозволив встановити наступні особливості процесу сканування, використовувани лікарями, які потенційно сприяли оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів:

- зміна оригінальних запропонованих виробником інтраорального сканера стратегій сканування в умовах, коли первинна апробація такої була неуспішною, або ж без попередньої апробації такої, та реалізація стратегій сканування, котрі можуть бути апроксимізовані по своїй суті до зигзагоподібних, або ж кругових/окружних в проекції кожного скан-абатмента – у 50 випадках (86,20%);
- реалізація процесу сканування відразу з зафіксованими скан-абатментами (без отримання попереднього скану з беззубої щелепи чи ділянки адентії значної протяжності до фіксації скан-абатментів) – у 28 випадках (48,27%);
- використання з метою забезпечення безперервного процесу сканування матеріалів світлової полімеризації на основі рідких смол (на зразок PeroxiDam, Latus, Україна), які наносились та в подальшому полімеризувались на певній відстані від скан-абатментів та виконували функцію незалежних фідуціарних маркерів, або ж які використовувались з метою забезпечення з'єднання окремих скан-абатментів, імітуючи реалізацію стратегії продовжуваного/безперервного сканування – у 38 випадках (65,51%);
- використання незалежних спеціалізованих фідуціарних маркерів з системою адгезивного кріплення на слизову – у 8 випадках (13,79%);
- блокування стабільно-відсканованого фрагменту перед деталізованим доскануванням кожного окремого скан-абатменту в програмному забезпеченні – у 14 випадках (24,13%);
- забезпечення максимально-можливої сухості робочого поля з використанням рельєфу нерухомої слизової для забезпечення неперервності процесу сканування – у 45 випадках (77,58%).

Отримані дані засвідчили варіативність підходів, які застосовуються в клінічній практиці з метою оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів на беззубих щелепах та в проекції ділянок адентії значної протяжності в ході процедури інтраорального сканування. Найчастіше з метою покращення якості та точності скану лікарі в практичній діяльності послуговувалися опціями

зміни оригінальних запропонованих виробником інтраорального сканера стратегій сканування та забезпеченням максимально-можливої сухості робочого поля з використанням рельєфу нерухомої слизової для реалізації неперервності процесу сканування. Дещо рідше для безперервного процесу сканування використовували матеріали світлової полімеризації на основі рідких смол, які або виконували функцію неспецифічних незалежних фідуціарних маркерів, або ж забезпечували з'єднання окремих скан-абатментів, імітуючи реалізацію стратегії продовжуваного/безперервного сканування.

В умовах лабораторного дослідження Hamilton A. та колег було проведено порівняння двох підходів до сканування: перший передбачав сканування ділянок щелеп до встановлення скан-абатментів, після чого ділянки проєкцій абатментів графічно вирізались в програмному забезпеченні, на імплантати встановлювали скан-абатменти, і після того повторно проводили сканування; другий підхід передбачав проведення сканування одразу з зафіксованими скан-абатментами без отримання попередніх сканів [20]. Реалізований комперативний аналіз дозволив встановити, що другий підхід характеризується нижчим рівнем девіації просторової посадки супраконструкцій відносно об'єктивних просторових співвідношень імплантатів (показник правдивості за критерієм середнього просторового відхилення: 24 ± 7 мкм проти 44 ± 24 мкм), і відтак встановлення скан-абатментів перед отриманням скану із беззубої щелепи сприяє покращенню результатуючих показників точності сканування. Крім того, підхід до сканування з уже встановленими скан-абатментами характеризувався вищими показниками прецизійності в порівнянні з підходом, який передбачав первинне сканування без скан-абатментів (рівень похибки: 25 ± 10 мкм проти 45 ± 23 мкм). Аналогічні результати були також продемонстровані в роботі Motel C. та колег, які також продемонстрували преферативність одноетапної

стратегії сканування скан-абатментів на ділянках обмеженої протяжності в порівнянні з двоетапною (рівні похибок: 71 мкм проти 125 мкм) [17]. В умовах проведеного нами клінічного спостереження було відмічено, що лікарі м. Ужгород також застосовували дану опцію у власній клінічній практиці, але лише у 48,27% випадків, аргументуючи це тим, що згідно рекомендацій виробника інтраорального сканера первинно-необхідним є скан до фіксації скан-абатментів (рис. 1).

Більшість використовуваних на сьогодні систем інтраорального сканування після відповідних оновлень не передбачають обмежень щодо можливості проведення первинного сканування для реєстрації положення дентальних імплантатів на беззубих щелепах відразу з зафіксованими скан-абатментами без отримання попереднього скану з беззубої щелепи до фіксації скан-абатментів, відтак дана опція може бути інтерпретована як недооцінена серед лікарів-практиків (рис. 2).

Систематичні огляди Shetty P. та Paratelli A. продемонстрували, що в цілому сплінтування скан-абатментів сприяє досягненню вищої точності інтраоральних сканів для реєстрації положення дентальних імплантатів, однак ефективність такого підходу може варіювати, зважаючи на використовувану техніку шинування, застосовуваний протокол сканування, технологію інтраорального сканування, кількість та відстань між встановленими дентальними імплантатами [3; 31]. Для уникнення окремих недоліків внутрішньоротового шинування скан-абатментів з метою підвищення точності інтраоральних сканів Junying Li та колеги запропонували використовувати калібрований протокол інтраорального сканування, який базується на використанні каліброваного шаблону (джигу) з сформованими отворами під скан-абатменти [5]. Шаблон відіграє роль стабільного фідуціарного маркеру при переносі координатного положення дентальних імплантатів в умовах реалізації

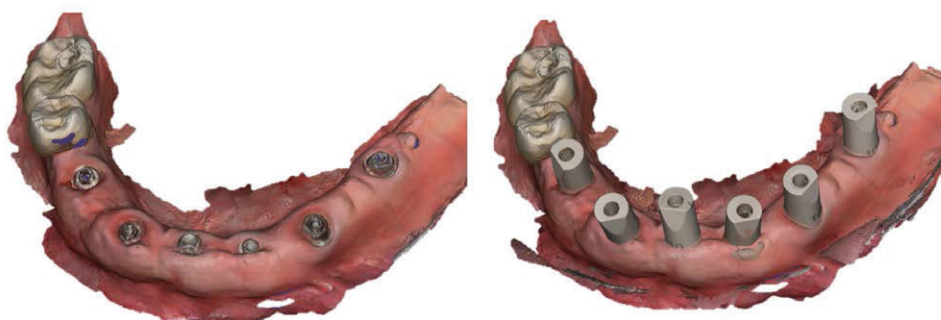


Рис. 1. Клінічний випадок з отриманням первинного скану до фіксації скан-абатментів та послідовного скану із зафіксованими скан-абатментами (з клінічної практики Тукало І.В.)



Рис. 2. Клінічний випадок з одномоментною реєстрацією положення скан-абатментів при реалізації протоколу негайного навантаження (з клінічної практики Лях А.І.)

цифрового протоколу реабілітації [5]. Такий підхід дозволив досягти правдивості цифрового скану тотожної аналоговому відбитку технікою відкритої ложки, який розцінюється в якості «золотого стандарту», але при цьому і найкращих показників віртуального тесту Шеффілда (в проекції контрлатерального найбільш дистального імплантату рівень правдивості сягав $121,7 \pm 43,53$ мкм, що було на 36,7% кращим результатом, ніж при застосуванні еластомерного відбитка та на 60% кращим результатом, ніж при проведенні інтраорального сканування без додаткових оптимізацій) в порівнянні із конвекційним еластомерним відбитком чи конвекційним інтраоральним сканом.

Для оптимізації точності реєстрації взаємоположення скан-абатментів також можуть бути застосовані окремі додаткові елементи, які з однієї сторони забезпечують більш структуроване та геометрично-визначене шинування скан-абатментів, а з іншої сторони відіграють роль фідуціарних маркерів. Використання додаткових фідуціарних маркерів, які сприяють покращенню точності сканування можливе і на певній відстані від встановлених скан-абатментів, відіграючи при цьому роль незалежних реперних точок, відносно котрих формується побудова цілісного зображення із сету фотографій, отриманих в процесі сканування [4; 10]. По суті усі вищезазначені підходи представляють собою модифікації універсальної концепції стратегії безперервного сканування, яка дозволяє мінімізувати кількість критичних графічних зшивань, асоційованих із дисторцією отриманого трьохмірного зображення, шляхом продовжуваного захоплення реперних елементів як окремих, проте взаємопов'язаних частин, чи цілих фідуціарних маркерів, при відсутності виражених поверхневих розривів між такими [11].

В реалізованому аналізі 58 випадків інтраорального сканування під час тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах, які були проведені в межах клінічних баз стоматологічного факультету ДВНЗ «Ужгородський національний університет», лікарі у 65,51% випадків послуговувалися використанням матеріалів світлової полімеризації на основі рідких смол (на зразок PeroxiDam, Latus, Україна), які наносились та в подальшому полімеризувались на певній відстані від скан-абатментів та виконували функцію незалежних фідуціарних маркерів, або ж які використовувались з метою забезпечення з'єднання окремих скан-абатментів, імітуючи реалізацію стратегії продовжуваного/безперервного сканування. Значно рідше відмічалось використання незалежних спеціалізованих фідуціарних маркерів з системою адгезивного кріплення на слизову – лише у 13,79% випадків.

Лабораторне дослідження Mizumoto R. та колег дозволило встановити, що коротші скан-абатменти з меншою кількістю піднутрень в структурі свого дизайну характеризуються меншою ймовірністю розвитку девіацій відстаней; зокрема дослідниками було відмічено, що скан-абатменти Zimmer Biomet були асоційовано з вищою точністю інтраорального скана в порівнянні з абатментами Atlantis I-Flo, Core3D, Nt-Tranding, Dess-USA [28; 32]. Також було відмічено, що субстракційні модифікації скан-абатментів сприяють зростанню рівня правдивості сканування, тоді ж як аддитивні модифікації, навпаки, провокують зниження даного параметру. У оглядовому дослідженні Rutkunas V. (2024) було узагальнено, що більш ефективними для сканування в умовах беззубої щелепи є скан-абатменти з гвинтовим механізмом фіксації, однокомпонентного дизайну,

з широкою оклюзійною поверхнею та кодуванням для ідентифікації платформи імплантата [30]. Водночас аспект впливу різних параметрів скан-абатментів на точність отриманого інтраорального скану залишається предметом вивчення та аналізу, по якому наразі не можна сформулювати жодних однозначних висновків достатнього доказового рівня для широкого впровадження в стоматологічну практику [2; 19]. Аналіз проведений серед 58 випадків інтраорального сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах не виявив жодного випадку реалізації підходу до оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів за рахунок використання скан-абатментів специфічної конфігурації.

Попередня лабораторна апробація декількох підходів до сканування продемонструвала, що застосування кільцевого/окружного патерну сканування забезпечує найвищі показники правдивості та прецизійності, хоча рівні параметрів статистично не відрізнялися від таких при оклюзійно-лінгвально-щічному, щічно-лінгвально-оклюзійному та лінгвально-щічно-оклюзійному патернах сканування. Найгірші рівні точності були відмічені при реалізації зигзагоподібного патерну сканування [18]. Потребує уваги той факт, що кількість юнітів сканування (фотографій) була найбільшою при оклюзійно-щічно-лінгвальному патерні, в свою чергу зростання кількості юнітів сканування потенційно може бути асоційовано із зростанням ризику похибки при їх графічному зшиванні в ході процесингу. В пізнішому клінічному дослідженні Gomez-Polo M. та колеги відмітили, що зигзагоподібний патерн сканування все ж характеризувався достатньою ангулярною та лінійною точністю [20]. При цьому перспективним також виглядає патерн сканування, при якому первинний скан лінгвальної поверхні скан-абатментів блокується, і тільки після того розпочинається сканування з вестибулярної поверхні. Точність даних підходів з точки зору лінійних відхилень складала 63 ± 20 мкм та 78 ± 8 мкм для стратегії із блокування первинного скану та зигзагоподібної стратегії відповідно, тоді як з точки зору ангулярних девіацій – $0,62 \pm 0,08^\circ$ та $0,43 \pm 0,05^\circ$ відповідно. Grande F. та колеги відмітили, що різні комбінації стратегій сканування та дизайну використовуваних скан-абатментів можуть по-різному впливати на результуючі показники точності реєстрації положення дентальних імплантатів, зокрема використання стратегії «One Shot» дозволяє підвищити показник правдивості сканування при використанні апаратів Medit та PrimeScan, однак не впливає на правдивість сканування апаратом Trios в порівнянні із

зигзагоподібною стратегією [12]. При цьому стратегія сканування «One Shot» передбачала сканування скан-абатментів з лінгвальної сторони під кутом 45° до оклюзійної поверхні з охопленням частини оклюзійної та лінгвальної сторін скан-абатментів в один підхід, і тільки після цього проводилась процедура доскановування кожного скан-абатмента з вестибулярної сторони. Revilla-Leon M. та колеги зазначила, що стратегія сканування повинна відповідати рекомендаціям виробника за наявності такої, розробленої спеціально для випадків тотальних реабілітацій, оскільки ефективність різних стратегій може відрізнятися в залежності від виробника інтраорального сканера [22]. Зокрема у дослідженні Ezmek B. (2025) було відмічено, що використання стратегії сканування запропонованої виробником (оклюзійно-щічно-палатинальної) сприяло досягненню кращих результатів точності сканування семи скан-абатментів з точки зору критерію ангулярної девіації, хоча зигзагоподібна стратегія сканування характеризувалася чисельно апроксимізованими результатами ($0,1599 \pm 0,1843^\circ$ та $0,1875 \pm 0,1713^\circ$ відповідно), а з точки зору лінійних девіацій власне зигзагоподібна стратегія, палатинально-оклюзійно-щічна та щічно-оклюзійно-палатинальна демонстрували показники нижче 50 мкм без врахування стандартних похибок [13]. Аналіз випадків сканування проведений серед двох клінік м. Ужгород виявив, що зміна оригінальних запропонованих виробником інтраорального сканера стратегій сканування в умовах, коли первинна апробація такої була неуспішною, або ж без попередньої апробації такої, була найчастіше застосованим підходом до оптимізації точності реєстрації положення дентальних імплантатів на беззубих щелепах в ході інтраорального сканування. Дана опція була використана у 86,2% випадків, при цьому найчастіше застосовані стратегії сканування були тотожні зигзагоподібному, або ж круговому рухам в проекції кожного скан-абатмента (рис. 3).

Крім того у майже у 25% клінічних випадків, включених до проведеного спостереження, лікарі застосовували блокування стабільно-відсканованого фрагменту перед деталізованим сканування кожного окремого скан-абатменту в програмному забезпеченні (рис. 4), що умовно тотожно підходам «OneShot» описаному Grande F. [12], та модифікаціям стратегії за Gomez-Polo M. [20].

Окремі моделі інтраоральних сканерів можуть демонструвати вищу точність сканування беззубих щелеп з встановленими скан-абатментами, аніж інші, що було відміченому у оглядовому дослідженні Rutkunas V. та колег, проте доступних даних недостатньо для формулювання однозначних висновків щодо вищих функціональних можливостей певного апарату для інтраорального сканування



Рис. 3. Клінічний випадок з реалізацією зигзагоподібної стратегії сканування (з клінічної практики Лях А.І.)

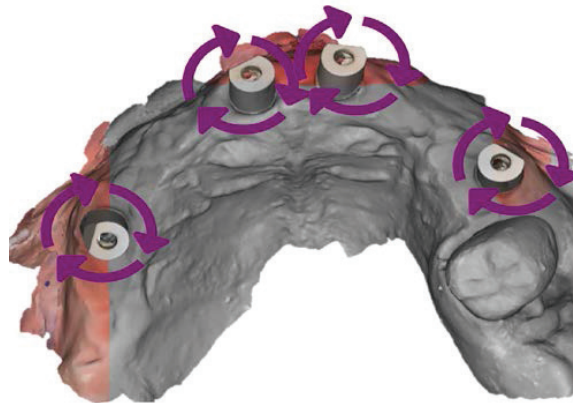


Рис. 4. Клінічний випадок з блокуванням стабільного лінгвального фрагменту інтраорального скану (позначено чорно-білим кольором) з доскановуванням ділянок в проекції кожного окремого скан-абатмента (з клінічної практики та експериментальних досліджень Тукало І.В. та Гончарук-Хомин М.Ю.)

над іншими [30]. У систематичному огляді Floriani F. та колег було відмічено, що більшість систем інтраорального сканування характеризуються точністю реєстрації положення денціальних імплантатів в межах порогового значення нижче 200 мкм з точки зору потенційних лінійних відхилень [26], однак отримані результати перевищують порогові показники, які інтерпретовані у якості рівнів біологічного та механічного толерування, повідомлені раніше у класичних роботах Katsoulis J. та авторів [27], а також Jemt R. та Lie A. [24].

Умови робочого середовища також в значній мірі впливають на точність інтраорального сканування на беззубих щелепах з встановленими денціальними імплантатами. Зокрема, систематичний огляд Pereira A. та колег продемонстрував,

що найсприятливішими умовами для сканування є температура середовища в діапазоні 20-21°C, атмосферний тиск – 750-760±5 мм.рт.ст., вологість повітря – 45% [14]. При цьому найкращі результати точності були відмічені при ангуляції імплантатів між собою до 15° та в умовах міжімплантантної відстані 16-22 мм [14]. Дослідники також відзначили необхідність інтерпретації техніки сканування як промоції фізичного шляху для графічного з'єднання траєкторій між скан-абатментами в структурі цифрового середовища, відтак будь-які аддитиви, які сприяють трасуванню ділянок між скан-абатментами потенційно позитивно повинні впливати на точність сканування [14]. Потребує уваги той факт, що в умовах наявності достатньої площі нерухокої слизової між встановленими імплантатами при

достатній сухості ділянки сканування рельєф такої також до певної міри може відігравати роль фідучіального маркеру. Дана особливість була врахована лікарями приватних стоматологічних клінік м. Ужгород, які в 77,58% випадків забезпечували максимальну сухість робочого поля з потенційним використанням рельєфу нерухомої слизової для забезпечення неперервності процесу сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах.

Покращення вираженості окремих перехідних ділянок можна забезпечити за рахунок використання підручних засобів, на зразок рідкого

кофердаму, що також було описано в літературі та апробовано на практиці [25]. Аналогічний підхід був відміченим і в проведеному клінічному спостереженні за 58 випадками інтраорального сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах, які були виконані в межах клінічних баз стоматологічного факультету ДВНЗ «Ужгородський національний університет»: використання з метою забезпечення безперервного процесу сканування або ж з метою використання у якості незалежного фідучіального маркеру матеріалу PeroxiDam (Latus, Україна) провадилось у 65,51% випадків (рис. 5).

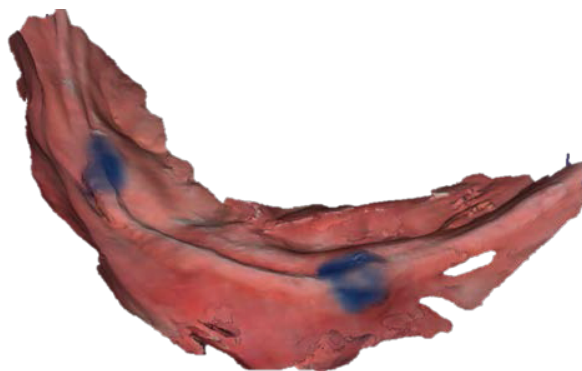


Рис. 5. Клінічний випадок застосування рідкого кофердаму в якості умовного фідучіального маркеру при скануванні беззубої нижньої щелепи (з клінічної практики та експериментальних досліджень Гончарук-Хомин М.Ю.)

З метою підвищення результативності точності припасування тотальних конструкцій на дентальних імплантатах Hyspler P. та колеги запропонували використовувати метод реверсивного відбитка, однак цільова спрямованість такого полягає у оптимізації верифікації положення імплантів та подальшій передачі отриманих даних в лабораторію, і в меншій мірі пов'язана із власне самим процесом конкретно інтраорального сканування як таким [29].

Окремі елементи девіацій показників правдивості та прецизійності цифрових відбитків можуть бути скориговані в ході пост-процесингу результатів інтраорального сканування [1], однак для реалізації такого підходу необхідними є відповідний досвід та знання роботи із трьохмірними моделями в уніфікованих координатних площинах та в розрізі полівекторних суперімпозицій за умов коригованого елайнменту ділянок інтересу, а не лише як з цілісними графічними файлами.

Висновки. В результаті проведеного спостереження за практичними випадками інтраорального

сканування в ході реалізації тотальної реабілітації стоматологічних пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах було відмічено, що найчастіше з метою покращення якості та точності цифрового відбитку лікарі в клінічній діяльності послуговувалися опціями зміни оригінальних запропонованих виробником інтраорального сканера стратегій сканування та забезпеченням максимально-можливої сухості робочого поля з використанням рельєфу нерухомої слизової для неперервності процесу сканування, а також використанням з метою забезпечення принципу безперервного процесу сканування матеріалів світлової полімеризації на основі рідких смол, які або виконували функцію неспецифічних незалежних фідучіальних маркерів, або ж використовувались для з'єднання окремих скан-абатментів. Найчастіше модифікації стратегій сканування були представлені реалізацією зигзагоподібних рухів та таких, які забезпечували окружний/круговий патерн навколо скан-абатментів з доскановуванням.

Література:

1. A novel post-processing strategy to improve the accuracy of complete-arch intraoral scanning for implants: an in vitro study / Y. Pan, X. Dai, F. Wan, [et al.]. *Journal of Dentistry*. 2023. Vol. 139. P. 104761.
2. A systematic review of factors impacting intraoral scanning accuracy in implant dentistry with emphasis on scan bodies / P. Gehrke, M. Rashidpour, R. Sader, [et al.]. *International Journal of Implant Dentistry*. 2024. Vol. 10(1). P. 20.
3. Accuracy of the digital implant impression with splinted and non-splinted intraoral scan bodies: A systematic review / P.S. Shetty, A.P. Gangurde, M.R. Chauhan, [et al.]. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2025. Vol. 25(1). P. 3–12.
4. Area accuracy gradient and artificial markers: a three-dimensional analysis of the accuracy of IOS scans on the completely edentulous upper jaw / R. Sorrentino, G. Ruggiero, R. Leone, [et al.]. *Journal of Osseointegration*. 2021. Vol. 13(S4). P. S257–S264.
5. Calibrated intraoral scan protocol (CISP) for full-arch implant impressions: An in vitro comparison to conventional impression, intraoral scan, and intraoral scan with scan-aid / J. Li, Z. Chen, P. Nava, [et al.]. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2024. Vol. 26(5). P. 879–888.
6. Classification of complete-arch implant scanning techniques recorded by using intraoral scanners / M. Revilla-León, M. Gómez-Polo, V. Rutkunas, [et al.]. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2025. Vol. 37(1). P. 236–243.
7. Comparative analyses of time efficiency and cost in fabricating fixed implant-supported prostheses in digital, hybrid, and conventional workflows: A systematic review and meta-analysis / M. Bessadet, C. Auduc, N. Drancourt, [et al.]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2025. Vol. 133(3). P. 689–712.
8. Comparisons between digital-guided and nondigital protocol in implant planning, placement, and restorations: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / B. Xiang, J. Yu, J. Lu, [et al.]. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*. 2023. Vol. 23(4). P. 101919.
9. Complete digital workflow for mandibular full-arch implant rehabilitation in 3 appointments / P. Papaspyridakos, A. De Souza, A. Bathija, [et al.]. *Journal of Prosthodontics*. 2021. Vol. 30(6). P. 548–552.
10. Complete digital workflow in prosthesis prototype fabrication for complete-arch implant rehabilitation: a technique / P. Papaspyridakos, Y.W. Chen, I. Gonzalez-Gusmao, [et al.]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019. Vol. 122(3). P. 189–192.
11. Continuous Scan Strategy (CSS): A novel technique to improve the accuracy of intraoral digital impressions / M. Imburgia, J. Kois, E. Marino, [et al.]. *The European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*. 2020. Vol. 28(3). P. 128–141.
12. Effect of implant scan body type, intraoral scanner and scan strategy on the accuracy and scanning time of a maxillary complete arch implant scans: an in vitro study / F. Grande, A.M. Balma, F. Mussano, [et al.]. *Journal of Dentistry*. 2025. Vol. 159. P. 105782.
13. Ezmek B., Polat B. Comparison of the effect of scan patterns on the accuracy of complete-arch implant intraoral scans: An in vitro study. *Turkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*. 2025. Vol. 31(1).
14. Factors that influence the accuracy of intraoral scanning of total edentulous arches rehabilitated with multiple implants: A systematic review / A.L.C. Pereira, M.R.S. Curinga, H.V.M. Segundo, [et al.]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2023. Vol. 129(6). P. 855–862.
15. From denture to the final implant-supported prosthesis using a full-digital protocol: A dental technique / F.F. Todescan, M.M. Hayashi, L.R. Giugni, [et al.]. *Oral*. 2021. Vol. 1(4). P. 332–339.
16. Fully digital workflow in full-arch implant rehabilitation: A descriptive methodological review / C. Auduc, T. Douillard, E. Nicolas, [et al.]. *Prosthesis*. 2025. Vol. 7(4). P. 85.
17. Impact of different scan bodies and scan strategies on the accuracy of digital implant impressions assessed with an intraoral scanner: an in vitro study / C. Motel, E. Kirchner, W. Adler, [et al.]. *Journal of Prosthodontics*. 2020. Vol. 29(4). P. 309–314.
18. Influence of arch location and scanning pattern on the scanning accuracy, scanning time, and number of photographs of complete-arch intraoral digital implant scans / M. Gómez-Polo, R. Cascos, R. Ortega, [et al.]. *Clinical Oral Implants Research*. 2023. Vol. 34(6). P. 591–601.
19. Influence of implant scan body design (height, diameter, geometry, material, and retention system) on intraoral scanning accuracy: A systematic review / M. Gómez-Polo, M.B. Donmez, G. Çakmak, [et al.]. *Journal of Prosthodontics*. 2023. Vol. 32(S2). P. 165–180.
20. Influence of scanning pattern on accuracy, time, and number of photographs of complete-arch implant scans: A clinical study / M. Gómez-Polo, R. Cascos, R. Ortega [et al.]. *Journal of Dentistry*. 2024. Vol. 150. P. 105310.
21. Influence of scanning protocol on the accuracy of complete-arch digital implant scans: An in vitro study / A. Hamilton, W.M. Negreiros, S. Jain, [et al.]. *Clinical Oral Implants Research*. 2024. Vol. 35(6). P. 641–651.
22. Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy / M. Revilla-León, A. Lanis, B. Yilmaz, [et al.]. *Journal of Prosthodontics*. 2023. Vol. 32(S2). P. 150–164.
23. Intraoral scanning versus conventional methods for obtaining full-arch implant-supported prostheses: A systematic review with meta-analysis / F.L. Vieira, M. Carnietto, J.R. Cerqueira Filho, [et al.]. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15(2). P. 533.
24. Jemt T., Lie A. Accuracy of implant-supported prostheses in the edentulous jaw: Analysis of precision of fit between cast gold-alloy frameworks and master casts by means of a three-dimensional photogrammetric technique. *Clinical Oral Implants Research*. 1995. Vol. 6(3). P. 172–180.
25. Kanjanasavitree P, Thammajarak P, Guazzato M.. Comparison of different artificial landmarks and scanning patterns on the complete-arch implant intraoral digital scans. *Journal of Dentistry*. 2022. Vol. 125. P. 104266.
26. Linear accuracy of intraoral scanners for full-arch impressions of implant-supported prostheses: A systematic review and meta-analysis / F. Floriani, G.C. Lopes, A. Cabrera, [et al.]. *European Journal of Dentistry*. 2023. Vol. 17(4). P. 964–973.

27. Misfit of implant prostheses and its impact on clinical outcomes. Definition, assessment and a systematic review of the literature / J. Katsoulis, T. Takeichi, A. Sol Gaviria, [et al.]. *Eur J Oral Implantol*. 2017. Vol. 10(Suppl 1). P. 121–138.
28. Mizumoto R.M., Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018. Vol. 120(3). P. 343–352.
29. Reverse scan technique: A verification method for the implant position in intraoral scans / P. Hyspler, J. Strnad, R. Sala, [et al.]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2025. Vol. 133(4). P. 968–971.
30. Rutkūnas V., Auškalnis L., Pletkus J. Intraoral scanners in implant prosthodontics: A narrative review. *Journal of Dentistry*. 2024. Vol. 148. P. 105152.
31. Techniques to improve the accuracy of complete arch implant intraoral digital scans: A systematic review / A. Paratelli, S. Vania, C. Gómez-Polo, [et al.]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2023. Vol. 129(6). P. 844–854.
32. The effect of scanning the palate and scan body position on the accuracy of complete-arch implant scans / R.M. Mizumoto, G. Alp, M. Özcan, [et al.]. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2019. Vol. 21(5). P. 987–994.
33. Wulfman C., Naveau A., Rignon-Bret C. Digital scanning for complete-arch implant-supported restorations: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020. Vol. 124(2). P. 161–167.

Дата надходження статті: 30.07.2025

Дата прийняття статті: 20.08.2025

Опубліковано: 14.11.2025