УДК 616.314-089.843-074
DOI https://doi.org/10.32782/2786-7684/2025-4-6

Гончарук-Хомин Мирослав Юрійович,
доктор філософії за спеціальністю стоматологія, доцент,
доцент кафедри терапевтичної стоматології,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0002-7482-3881
м. Ужгород, Україна

Тукало Ігор Васильович,
аспірант кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0002-8431-8133
м. Ужгород, Україна

ОЦІНКА ПРАВДИВОСТІ ЗИГЗАГОПОДІБНОЇ СТРАТЕГІЇ ІНТРАОРАЛЬНОГО СКАНУВАННЯ ПІД ЧАС РЕЄСТРАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ СКАН-АБАТМЕНТІВ НА МОДЕЛІ БЕЗЗУБОЇ ЩЕЛЕПИ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Вступ. Об'єктивізація точності зигзагоподібної стратегії сканування, як однієї з потенційно-перспективних для оптимізації правдивості реєстрації положення скан-абатментів на беззубій щелепі, може бути інтерпретована в якості практично-доцільного завдання, вирішення котрого сприятиме покращенню якості тотальної реабілітації пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах.

Мета дослідження. Проаналізувати лінійні відхилення положення скан-абатментів при реалізації зигзагоподібної стратегії інтраорального сканування на досліджуваній моделі беззубої нижньої щелепи в лабораторних умовах.

Матеріали та методи. В лабораторних умовах проводили п'ятикратне отримання цифрового відбитка із досліджуваної моделі беззубої нижньої щелепи з встановленими п'ятьма скан-абатментами застосовуючи для цього інтраоральний сканер Medit i500 та реалізуючи ним зигзагоподібну стратегію сканування. Правдивість цифрового відбитку, отриманого із реалізацією зигзагоподібної стратегії сканування, оцінювали за даними девіацій міжімплантантних відстаней, які були зареєстровані інтраоральним сканером по відношенню до референтних показників, зареєстрованих лабораторним сканером.

Результати досліджень та їх обговорення. Середній рівень усіх відхилень міжімплантантних відстаней при порівнянні даних цифрових моделей, отриманих зигзагоподібною стратегією сканування та лабораторним сканером, складав 0,076 мм. Кореляція між середніми значеннями зареєстрованих міжімплантантних відстаней та стандартними відхиленнями склала r = 0,31, що відображає слабкий прямий зв'язок між протяжністю досліджуваних ділянок та варіабельністю кількісних характеристик точності сканування.

Висновки. В результаті апробації та квантифікації показників правдивості зигзагоподібної стратегії сканування в лабораторних умовах, було встановлено, що зареєстрований рівень похибок не перевищує клінічно-значущих порогів та варіює в діапазоні 53-94 мікрони відносно показників зареєстрованих лабораторним сканером у якості референтних, проте для обґрунтування широкої перспективи її клінічного застосування необхідна подальша валідація даного патерну сканування в реальних клінічних умовах.

Ключові слова: скан-абатменти, цифровий відбиток, імплантати, протезування, інтраоральне сканування, дентальні імплантати, адентія, стоматологічна реабілітація, ортопедичні конструкції, точність.

Goncharuk-Khomyn Myroslav Yuriyovych, Doctor of Philosophy in Dentistry, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Restorative Dentistry, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0000-0002-7482-3881, Uzhhorod, Ukraine

Tukalo Ihor Vasylovych, Postgraduate Student at the Department of Surgical Dentistry and Clinical Disciplines, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0000-0002-8431-8133, Uzhhorod, Ukraine

ASSESSMENT OF ZIGZAG INTRAORAL SCANNING STRATEGY TRUENESS FOR RECORDING POSITIONS OF SCAN-ABUTMENTS ON EDENTULOUS MANDIBLE MODEL WITHIN IN-VITRO CONDITIONS

Introduction. The objectification of zigzag scanning strategy accuracy, considering that such may be interpreted as one of the potentially promising approaches for optimizing the trueness of registering the positions of scan abutments on an edentulous jaw, can be interpreted as a practically expedient task, the solution of which may contribute to the improvement of quality during full-arch rehabilitation of patients with prosthetic constructions supported by dental implants.

Objective of the research. To analyze linear deviations of scan abutments' positions during the implementation of zigzag intraoral scanning strategy on the investigated edentulous mandible model within in-vitro conditions.

Materials and methods. Under laboratory conditions fivefold acquisition of digital impression was performed from the investigated model of an edentulous mandible with five installed scan abutments using Medit i500 intraoral scanner while implementing zigzag scanning strategy. The trueness of the digital impression obtained using the zigzag scanning strategy was evaluated based on the deviations of inter-implant distances registered by the intraoral scanner in comparison with reference parameters registered by the laboratory scanner.

© Гончарук-Хомин М. Ю., Тукало І. В., 2025
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Results and discussions. The mean level of all deviations noted among inter-implant distances when comparing the data of digital models obtained using the zigzag scanning strategy with those obtained using the laboratory scanner was 0,076 mm. The correlation between mean values of the registered inter-implant distances and standard deviations was r = 0,31, indicating weak direct relationship between the extent of the investigated segments and variability of the quantitative characteristics of scanning accuracy.

Conclusions. As a result of testing and quantifying trueness parameters of the zigzag scanning strategy under laboratory conditions, it was established that recorded error level does not exceed clinically significant thresholds and varies within the range of 53–94 microns in comparison to the indicators registered by the laboratory scanner as reference values. However, further validation of this scanning pattern under real clinical conditions is required to substantiate its broader clinical applicability.

Key words: scan abutments, digital impression, implants, prosthetics, intraoral scanning, dental implants, edentulism, dental rehabilitation, prosthetic constructions, accuracy.

Вступ. Стратегія інтраорального сканування відноситься до оператор-афілійованих факторів, які в подальшому впливають на точність цифрових відбитків при реєстрації положення скан-абатментів [1, 2, 3, 4]. Revilla-Leon M. та колеги визначили, що власне умови освітлення в робочому кабінеті, патерн сканування та дизайн скан-абатментів є тими параметрами, які в найбільшій мірі демонструють вплив на точність інтраорального відбитка в умовах протетичної реабілітації пацієнтів конструкціями з опорою на дентальних імплантатах. При цьому дослідники відмітили, що сама стратегія сканування може залежати від особливостей використовуваного апарату внутрішньоротового сканера, особливостей умов клінічної ситуації та кількості встановлених внутрішньокісткових опор і зафіксованих на них скан-абатментів [1, 2, 3].

Загальноприйнятими для дотримання вважаються ті стратегії сканування, які власне рекомендовані виробником інтраорального сканера, але в умовах зафіксованих скан-абатментів на беззубих щелепах стандартні підходи можуть демонструвати варіативну ефективність, і потребувати модифікації [1, 5, 6]. Попередні дослідження в окремих випадках демонструють неузгоджені результати щодо того, яка з можливих стратегій сканування в умовах реєстрації положення скан-абатментів забезпечує отримання найбільш точних показників та може бути інтерпретованою у якості преферативної [1, 6, 7, 8]. Така неузгодженість може бути обґрунтована варіативністю клінічних ситуацій, відмінними просторовими співвідношення скан-абатментів між собою як з точки зору лінійних, так і ангулярних параметрів, застосуванням апаратів із різним механізмом захоплення зображення (активної триангуляції, конфокальної мікроскопії, модифікованої фотограмметрії, активного передньохвилевого семплингу), різною вираженістю анатомічних структур, котрі можуть відігравати роль умовних фідуціарних маркерів.

Зигзагоподібна стратегія сканування за даними окремих досліджень демонструє можливість отримання цифрового реєстрату положення скан-абатментів на беззубій щелепі не меншої точності, аніж стратегії з оклюзійно-лінгвально-щічним патерном руху, сегментарним скануванням, та іншими модифікаціями [1, 9, 10, 11, 12]. З іншої сторони зигзагоподібне доскановування з оклюзійної сторони часто є елементом інших стратегій сканування, забезпечуючи повноту цифрової реєстрації геометричних параметрів цільових об'єктів (скан-маркерів). Водночас, ефективність зигзагоподібної стратегії сканування, як і інших, може визначатися дизайном використовуваних скан-абатментів, параметрами міжімплантантної відстані, топографією ділянки сканування, а також досвідом та навичками оператора [1].

Відтак об'єктивізація точності зигзагоподібної стратегії сканування, як однієї з потенційно-перспективних для оптимізації правдивості реєстрації положення скан-абатментів на беззубій щелепі, може бути інтерпретована в якості практично-доцільного завдання, вирішення котрого сприятиме покращенню якості тотальної реабілітації пацієнтів ортопедичними конструкціями з опорою на дентальних імплантатах

Мета. Проаналізувати лінійні відхилення положення скан-абатментів при реалізації зигзагоподібної стратегії інтраорального сканування на досліджуваній моделі беззубої нижньої щелепи в лабораторних умовах.

Матеріали та методи. На досліджуваній пластиковій моделі, котра імітувала стан повної адентії, було встановлено п'ять інтраосальних дентальних імплантатів з симуляцією субкрестально позиціонування опор. На встановлені дентальні імплантати було зафіксовано скан-абатменти (Alpha Dent, ATN9-Ti, 10,5 мм × 3,5 мм). Для отримання референтного зразка дана модель з встановленими скан-абатментами оцифровувалась із використанням лабораторного стоматологічного сканера DOF SWING HD (DOF Inc., Південна Корея).

В лабораторних умовах проводили п'ятикратне отримання цифрового відбитка із досліджуваної моделі беззубої нижньої щелепи з встановленими п'ятьма скан-абатментами застосовуючи для цього інтраоральний сканер Medit i500 (Medit Corp., Сеул, Південна Корея) та реалізуючи ним зигзагоподібну стратегію сканування. Інтервал між повторюваним скануванням моделі складав 15 хвилин, протягом котрого проводили перевірку чистоти дзеркала використовуваного сканера та очистку такого при потребі. Сканування проводила із реалізацією так званої зигзагоподібної стратегії сканування дотримуючись неперервності процесу від початкової точки сканування і до реєстрації найбільш дистально розміщеного скан-абатмента відносно такої (рис. 1).

В окремих випадках виражені графічні дефекти в структурі досліджуваної моделі доскановувались після отримання основного обсягу зображення, однак якщо такі потребували доскановування більше, ніж 15% площі зображення, то отриманий цифровий відбиток виключався із дослідження, і проводили повторне сканування із отриманням нового цифрового відбитка, дотримуючись принципу безперервного (продовжуваного) сканування. Жодних графічних

Рис. 1. Схематичне зображення реалізації зигзагоподібної стратегії сканування

маніпуляцій із цифровою моделлю, на зразок блокування частини первинно отриманого зображення, графічної сегментації та екстракції фрагменту цифрового відбитку, в ході реалізації стратегії сканування не проводилось.

Правдивість цифрового відбитку, отриманого із реалізацією зигзагоподібної стратегії сканування, оцінювали за даними девіацій міжімплантантних відстаней, які були зареєстровані інтраоральним сканером по відношенню до референтних показників, зареєстрованих лабораторним сканером [13]. Міжімплантантні відстані визначали відносно кожного зафіксованого скан-абатмента по відношенню до усіх інших, повторюючи вимірювання п'ятикратно в спеціалізованому програмному забезпеченні Medit Link (Medit Corp., Сеул, Південна Корея) та підпрограмі Medit Design (рис. 2).

Процедури впорядкування емпіричних даних, включно з їх групуванням, систематизацією та структурно-логічною організацією з метою забезпечення оптимальних умов для подальшої статистичної інтерпретації, здійснювалися із застосуванням програмного середовища Microsoft Excel 2021 (Microsoft Office 2021, Microsoft, США). Комплексне статистичне опрацювання отриманих результатів проводили із використанням розширеного аналітичного функціоналу статистичного пакета XLSTAT (Addinsoft Inc., Нью-Йорк, США), інтегрованого до програмної платформи Microsoft Excel 2021 у форматі спеціалізованої надбудови.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вимірювання, виконані на цифровій моделі, отриманій за допомогою інтраорального сканера із застосуванням зигзагоподібної стратегії сканування, продемонстрували такі середні значення міжімплантантних відстаней: між імплантатами 1 і 2 – 23,724 ± 0,043 мм; між імплантатами 1 і 3 – 31,926 ± 0,050 мм; між імплантатами 1 і 4 – 38,295 ± 0,057 мм; між імплантатами 1 і 5 – 40,388 ± 0,042 мм; між імплантатами 2 і 3 – 12,128 ± 0,033 мм; між імплантатами 2 і 4 – 22,442 ± 0,032 мм; між імплантатами 2 і 5 – 37,995 ± 0,042 мм; між імплантатами 3 і 4 – 10,926 ± 0,049 мм; між імплантатами 3 і 5 – 30,744 ± 0,055 мм; між імплантатами 4 і 5 – 22,783 ± 0,055 мм.

Середні розбіжності міжімплантантних відстаней, зареєстровані лабораторним сканером та інтраоральним сканером з реалізацією зигзагоподібної стратегії, знаходилися у діапазоні 0,053–0,094 мм, що не перевищує клінічно прийнятний поріг у 100 мікрон. Середній рівень усіх відхилень міжімплантантних відстаней при порівнянні даних цифрових моделей, отриманих зигзагоподібною стратегією сканування та лабораторним сканером (референтна модель), складав 0,076 мм (рис. 3).

Кореляція між середніми значеннями зареєстрованих міжімплантантних відстаней та відповідними стандартними відхиленнями становила r = 0,31, що свідчить про слабкий прямий зв'язок між протяжністю досліджуваних ділянок та варіабельністю кількісних показників точності сканування. Такий низький рівень кореляції опосередковано вказує на те, що визначальний внесок у формування похибок становлять, ймовірно, локальні алгоритмічні неточності та посегментне відтворення поверхонь за умов застосування зигзагоподібної стратегії, тоді як довжина відсканованого міжімплантатного фрагмента має лише мінімальний вплив на кінцевий рівень похибки.

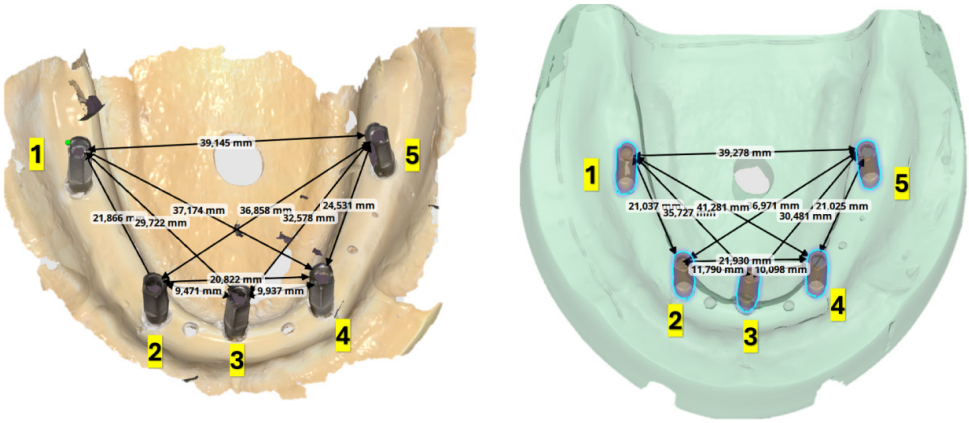

Рис. 2. Схематичне зображення принципу виконаних вимірювань міжімплантантних відстаней на моделі відсканованій з використанням інтраорального сканера (зліва) та референтній моделі, отриманій лабораторним сканером (справа)

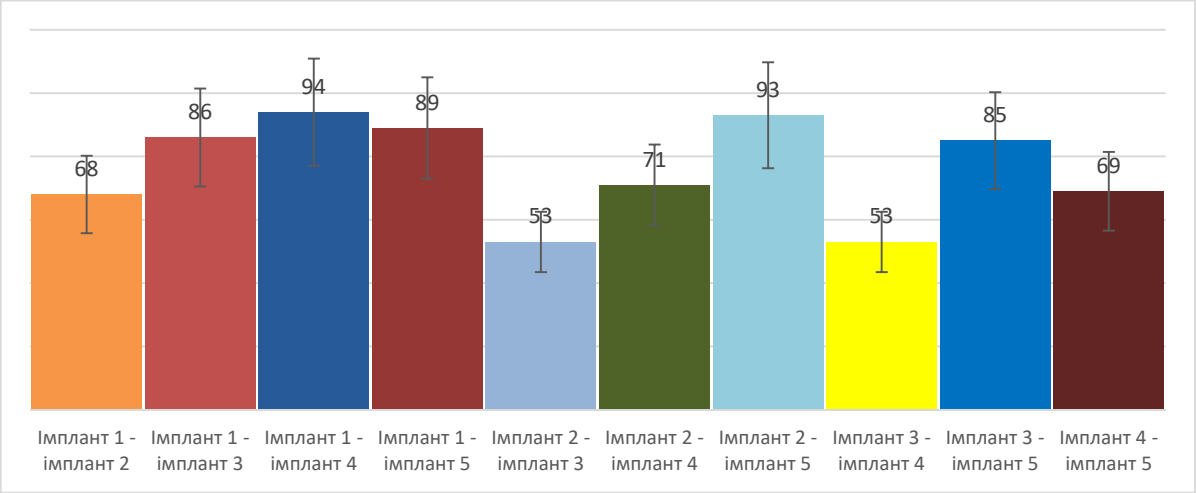

Рис. 3. Середні значення відхилень міжімплантантних відстаней на досліджуваній моделі в порівнянні із референтною

Зареєстровані стандартні відхилення при повторному скануванні досліджуваної моделі із застосуванням зигзагоподібної стратегії варіювали в межах 0,032–0,057 мм (32–57 мкм). З урахуванням того, що окремі значення цього діапазону перевищують відхилення, встановлені для правдивості, можна припустити, що показники прецизійності досліджуваної стратегії в лабораторних умовах є порівняно низькими. Такий результат може бути зумовлений характером траєкторії руху сканера, зокрема під час оцифрування ділянок значної протяжності, а також збільшенням кількості локальних зон втрати трекінгу, що вимагають повторного відновлення геометрії поверхні.

Водночас привертає увагу той факт, що розподіл отриманих стандартних відхилень не демонстрував чітких логічних закономірностей. Так, найбільше значення відхилення в 57 мкм було зафіксовано для міжімплантантної відстані між імплантатами 1 та 4, яка є другою за величиною серед усіх вимірюваних. Однак аналогічні значення відхилень в 55 мкм були отримані і для міжімплантантних відстаней між імплантатами 3 та 5, а також 4 та 5, які за протяжністю були помірними (до 30 мм). Такий ефект може бути частково пов'язаний із віддаленістю досліджуваних ділянок від початкової точки сканування та кумулятивним ефектом накопичення похибок. Проте подібний характер розподілу також може свідчити і про нелінійний патерн формування стандартних відхилень і їхню неоднорідну локалізацію, що вказує на відсутність стабільної спрямованості у процесах пропаганації чи акумуляції похибок, опосередковано відображаючи їх умовно хаотичну природу.

В умовах лабораторного дослідження Grande F. та колег, проведеному на моделі верхньої щелепи з встановленими шістьма дентальними імплантатами, було відмічено, що апробована зигзагоподібна стратегія сканування продемонструвала середню девіацію міжімплантантних відстаней на рівні 43±36 мкм, хоча діапазон таких склада 0-436 мкм [12]. Рівень середніх відхилень відмічених у роботі Grande F. та колег тотожний тому, котрий був відмічений у даному дослідженні на окремих ділянках міжімплантантних відстаней. При цьому у роботі Grande F. та колег показники точності для апробованої зигзагоподібної стратегії сканування були нижчими, аніж для стратегії сканування «One Shot» [12].

Лабораторна апробація шести різних стратегій сканування на моделях як верхньої, так і нижньої щелепи з встановленими шістьма скан-абатментами, дозволила визначити, що саме зигзагоподібна стратегія сканування характеризувалася найнижчими показниками як правдивості, так і прецизійності, оскільки середній середньоквадратичних помилок для правдивості складав 142±38 мкм та 131±42 мкм для верхньої та нижньої щелеп відповідно, а для прецизійності – 136±36 мкм та 126±41 мкм для верхньої та нижньої щелеп відповідно [10]. Відмічені діапазони відхилень частково тотожні тим, котрі були отримані у даному дослідженні, хоча у роботі Gomez-Polo M. та колег вони все ж є дещо ширшими, однак дана розбіжність може бути обумовлена відмінностями у використовуваних апаратах інтраоральних сканерів за принципом реєстрації трьохмірних зображень.

При апробації досліджуваної моделі нижньої щелепи з імітацією п'ятьох встановлених імплантатів в ще одному дослідженні зигзагоподібна стратегія сканування характеризувалася показниками правдивості в межах 21–29 мкм, і прецизійності – в межах 21–170 мкм [11]. При цьому точність зигзагоподібної стратегії була меншою, аніж стратегії, яка передбачала оклюзійне сканування із «погойдуючими» рухами у фронтальній ділянці та подальшою траєкторією руху сканера по вестибулярній, а потім – і по язиковій поверхні, не перериваючи такого. Крім того, найбільші відхилення показника правдивості при реалізації зигзагоподібної стратегії сканування відмічалися в проекції п'ятого (останнього) за послідовністю сканування імітатора імплантату (циліндру), де вона сягала 0,1 мм [11]. В проведеному нами дослідженні переважна частина найбільш виражених девіацій, які наближалися до лише рівня 100 мкм, також була пов'язана з між-

імплантатними відстанями з кінцевою точкою вимірювання в проекції імплантата 5.

У лабораторному дослідженні Robert N. та колег було апробовано одразу декілька модифікації зигзагоподібної стратегії сканування для реєстрації положення скан-абатментів, в ході якого автори відмітили, що власне оригінальна зигзагоподібна стратегія та модифікація такої з доскановуванням з піднебінного боку сприяє отриманню найбільш точних результатів та провокує найменший рівень похибок просторової реєстрації [9]. Дані результати не узгоджуються з показниками, отриманими у даному дослідженні, однак це може бути пояснено відмінностями у використовуваних скан-абатментах, тим фактом, що у роботі Robert N. та колег дослідження проводилось на моделі верхньої щелепи, а також застосуванням координатної вимірювальної машини для об'єктивізації вихідного положення скан-маркерів. Крім того, дослідження відрізнялися між собою і використовуваним апаратним забезпеченням та технологією його принципового функціонування, що, очевидно, в найбільшій мірі спровокувало критичні відмінності у отриманих результатах.

Окремі попередні дослідження продемонстрували, що зигзагоподібна стратегія сканування може забезпечувати більш точні результати реєстрації положення скан-абатментів для окремих моделей інтраоральних сканерів, зокрема для Cerec Primescan, або Dental Wings [14, 15]. В інших дослідженнях точність зареєстрована з реалізацією зигзагоподібного сканування для різних моделей сканерів Trios було відносно тотожною або вище точності, відміченою при провадженні інших патернів сканування [14, 15, 16].

Дослідження проведені на моделях з відпрепарованими зубами продемонстрували, що зигзагоподібна стратегія в цілому може бути розцінена як найбільш адаптивна для різних моделей інтраоральних сканерів з метою отримання клінічно-прийнятних рівнів точності [17]. Така особливість може бути пов'язана з наявністю достатньої кількості об'єктів визначеної геометрії, скануюча реєстрація котрих не складає значних труднощів, враховуючи можливість розпізнавання таких оптичною системою внутрішньоротового апарату. Це припущення також підтверджують результати лабораторного дослідження Jamjoom F. та колеги, в якому автори апробували різні стратегії сканування на моделях повністю беззубих щелеп, і встановили, що специфічно зигзагоподібна стратегія характеризується найнижчою загальною точністю незалежно від використовуваного апарату інтраорального сканера [18].

Варто відмітити, що результати отримані в лабораторних умовах потребують відповідної клінічної валідації, оскільки точність інтраорального сканування в значній мірі може залежати від впливу умов безпосередньо в ротовій порожнині (можливості використання насадок різного розміру в залежності від можливостей відкривання рота пацієнтом, можливість реалізації стабільного руху сканера в обмеженому просторі, можливість забезпечення належної сухості робочого поля, відсутності факту потрапляння крові в проекції сканування). Зокрема, Bagnasco F. та колеги в ході реалізації мультицентричного клінічного дослідження відмітили, що виконання процедури інтраорального сканування безпосередньо після встановлення імплантатів (післяопераційно) підвищує ризик розвитку неточностей щодо реєстрації положення скан-абатментів [19]. Середні відхилення показника точності сканів, отриманих відразу після імплантації та після загоєння ділянки втручання, складали 0,19 мм, при цьому найбільш виражені девіації концентрувалися в проекції дистально-встановлених імплантатів [19].

Також в клінічному дослідженні на верхній щелепі зигзагоподібна стратегія сканування продемонструвала лінійні відхилення в діапазоні 78 ± 8 мкм, котрі були більшими, ніж при стратегії з блокуванням первинно відсканованого сегменту, і статистично тотожні таким при оклюзійно-щічно-лінгвальному та окружному патернах пуху сканера [16]. Хоча при цьому автори констатували, що отримані дані можуть бути інтерпретовані лише по відношенню до використовуваного в дослідженні інтраорального сканера (Trios 4, v.21.3; 3Shape A/S) [16]. Відтак попри те, що дані отримані в дослідженні, описаному у даній публікації, демонструють відмінні результати, слід відзначити, що такі були отримані в лабораторних умовах, а з іншої сторони – можуть бути аплікабельні для моделі використовуваного інтраорального сканера (Medit i500) з шестирічним терміном щоденної експлуатації.

В цілому дані отримані в проведеному дослідженні засвідчують, що рівень відхилень при реалізації зигзагоподібної стратегії сканування в лабораторних умовах є нижче клінічно-значущого, однак дана стратегія потребує валідації в реальних клінічних умовах з врахуванням особливостей отримання цифрового відбитка внутрішньоротово. Показники правдивості, відмічені в даному дослідженні, тотожні з результатами, отриманими у низці попередніх досліджень, однак водночас відрізняються від таких, описаних в інших наукових роботах. При цьому порівнюючи дані необхідно приймати до уваги вплив факторів використовуваного апаратного та програмного забезпечення, фактичні міжімплантатні відстані, кутові співвідношення скан-абатментів та досвід оператора, котрий проводив сканування, котрі безпосередньо можуть впливати на результуючі параметри правдивості в умовах реалізації зигзагоподібної стратегії сканування.

Висновки. В результаті проведеного дослідження, присвяченого апробації та квантифікації показників правдивості зигзагоподібної стратегії сканування в лабораторних умовах, було встановлено, що зареєстрований рівень похибок не перевищує клінічно-значущих порогів та варіює в діапазоні 53-94 мікрони відносно показників зареєстрованих лабораторним сканером у якості референтних, проте для обґрунтування широкої перспективи її клінічного застосування необхідна подальша валідація даного патерну сканування в реальних клінічних умовах, де такі фактори, як обмежений простір, наявність вологи, післяопераційні зміни тканин та складність позиціонування сканера, можуть істотно впливати на точність цифрового відбитка. Порівнюючи отримані дані із показниками,

повідомленими у спеціалізованій літературі раніше, можна дійти висновку, що зигзагоподібна стратегія сканування характеризується істотною варіабельністю показників точності, які залежать від моделі інтраорального сканера, умов отримання цифрового відбитку, типу досліджуваної анатомічної моделі та просторових характеристик скан-абатментів. Незважаючи на те, що отримані в даному дослідженні результати переважно узгоджуються з даними низки попередніх експериментальних робіт, окремі розбіжності з іншими науковими джерелами можуть бути зумовлені відмінностями в апаратному забезпеченні, застосованих алгоритмах реконструкції тривимірного зображення, різницею координатного взаєморозміщення та кількості скан-абатментів, використанням відмінних референтних методик та варіацією досвіду оператора.

REFERENCES

1. Revilla-León M, Lanis A, Yilmaz B, Kois JC, Gallucci GO. Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy. Journal of prosthodontics. 2023 Dec;32(S2):150-64. https://doi.org/10.1111/jopr.13749
2. Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans. Part 1: Operator factors. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry. 2023 Jan;35(1):230-40. https://doi.org/10.1111/jerd.12985
3. Revilla-León M, Kois JC. Implant Scanning Workflows for Fabricating Implant-Supported Prostheses Recorded by Using Intraoral Scanners With or Without Photogrammetry Technologies. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry. 2025 Jun;37(6):1384-91. https://doi.org/10.1111/jerd.13431
4. Tukalo I, Liakh A, Goncharuk-Khomyn M. Practical approaches for the accuracy optimization of dental implants' position registration during intraoral scanning procedure: clinical observations regarding usage. Modern Medicine, Pharmacy and Psychological Health. 2025;(2(20):152-162. https://doi.org/10.32689/2663-0672-2025-2-23
5. Oh KC, Park JM, Moon HS. Effects of scanning strategy and scanner type on the accuracy of intraoral scans: a new approach for assessing the accuracy of scanned data. Journal of Prosthodontics. 2020 Jul;29(6):518-23. https://doi.org/10.1111/jopr.13158
6. Motel C, Kirchner E, Adler W, Wichmann M, Matta RE. Impact of different scan bodies and scan strategies on the accuracy of digital implant impressions assessed with an intraoral scanner: an in vitro study. Journal of Prosthodontics. 2020 Apr;29(4):309-14. https://doi.org/10.1111/jopr.13131
7. Rutkūnas V, Gečiauskaitė A, Jegelevičius D, Vaitiekūnas M. Accuracy of digital implant impressions with intraoral scanners. A systematic review. Eur J Oral Implantol. 2017 Jan 1;10(Suppl 1):101-20. PMID: 28944372
8. Zhang YJ, Shi JY, Qian SJ, Qiao SC, Lai HC. Accuracy of full-arch digital implant impressions taken using intraoral scanners and related variables: A systematic review. Int J Oral Implantol (Berl). 2021 May 12;14(2):157-79. PMID: 34006079
9. Robert N, Bechet E, Albert A, Lamy M. Influence of the scanning path on the accuracy of intraoral scanners in the implanted edentulous patient: an in vitro study. International Journal of Computerized Dentistry. 2025 Apr 1;28(2):117-127. https://doi.org/10.3290/j.ijcd.b5036725
10. Gómez-Polo M, Cascos R, Ortega R, Barmak AB, Kois JC, Revilla-León M. Influence of arch location and scanning pattern on the scanning accuracy, scanning time, and number of photograms of complete-arch intraoral digital implant scans. Clinical Oral Implants Research. 2023 Jun;34(6):591-601. https://doi.org/10.1111/clr.14069
11. Yahya MA, Selléus M, Hadi DJ, Braian M, Larsson C. The effect of different scanning protocols on precision and trueness of intraoral scanning: A pilot trial. Journal of Clinical and Experimental Dentistry. 2024 Oct 1;16(10):e1299. https://doi.org/10.4317/jced.62158
12. Grande F, Balma AM, Mussano F, Catapano S. 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. Journal of Dentistry. 2025 Aug 1;159:105782. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105782
13. Goncharuk-Khomyn M, Tukalo I. Analysis of criteria and approaches used for quantitative assessment of dental implant positions' registration accuracy with the use of digital impression technology. Intermedical journal. 2025;1(3):27-37. https://doi.org/10.32782/2786-7684/2025-3-5
14. Sezer T, Esim E, Yılmaz E. Trueness of Intraoral Scanners in Different Scan Patterns for Full-Arch Digital Implant Impressions. Journal of Oral Implantology. 2024 Aug 1;50(4):426-30. https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-24-00054
15. Pattamavilai S, Ongthiemsak C. Accuracy of intraoral scanners in different complete arch scan patterns. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2024 Jan 1;131(1):155-62. . https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.12.026
16. Gómez-Polo M, Cascos R, Ortega R, Barmak AB, Kois JC, Pérez-Barquero JA, Revilla-León M. Influence of scanning pattern on accuracy, time, and number of photograms of complete-arch implant scans: A clinical study. Journal of Dentistry. 2024 Nov 1;150:105310. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105310
17. Alharbi AM, Alawaji SA, Yehya MR, Alenezi AA. Evaluation of the accuracy of different digital scanning systems and intraoral scanning strategies: An in vitro study. Saudi Journal of Oral Sciences. 2024 May 1;11(2):125-32. https://doi.org/10.4103/sjoralsci.sjoralsci_40_24
18. Jamjoom FZ, Aldghim A, Aldibasi O, Yilmaz B. Impact of intraoral scanner, scanning strategy, and scanned arch on the scan accuracy of edentulous arches: An in vitro study. The Journal of prosthetic dentistry. 2024 Jun 1;131(6):1218-25. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.01.027
19. Bagnasco F, Menini M, Pesce P, Crupi A, Gibello U, Delucchi F, Carossa M, Pera F. Comparison of Full-Arch Intraoral Scans Immediately After Implant Insertion Versus Healed Tissue: A Multicentric Clinical Study. Prosthesis. 2024 Nov 20;6(6):1359-71. https://doi.org/10.3390/prosthesis6060098

Дата надходження статті: 30.10.2025
Дата прийняття статті: 25.11.2025
Опубліковано: 30.12.2025