

Нестеренко Марія Леонідівна,
асистент кафедри терапевтичної стоматології,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
mariia.nesterenko@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-4504-2947>
м. Ужгород, Україна

Гончарук-Хомин Мирослав Юрійович,
PhD, доктор філософії, доцент, завідувач кафедри терапевтичної стоматології,
академічний редактор *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
myroslav.goncharuk-khomyn@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-7482-3881>
м. Ужгород, Україна

Порівняльна характеристика правдивості та прецизійності інтраоральних сканерів (огляд літератури)

Вступ. Враховуючи те, що інтраоральні сканери стали ключовим інструментом для отримання високоточного тривимірного зображення зубів і щелеп, важливість аналізу правдивості та прецизійності різних системи сканування залишається актуальним завданням для забезпечення точності та ефективності стоматологічного лікування, а також сприятиме актуалізації критеріїв при виборі найбільш оптимального обладнання залежно від клінічної ситуації та впливу різноманітних чинників. **Мета дослідження.** Вивчити та систематизувати дані літератури щодо параметрів правдивості та прецизійності варіативних систем інтраорального сканування, а також провести порівняльний аналіз даних точності досліджуваних систем між собою, враховуючи вплив різних факторів. **Матеріали та методи.** Проведене дослідження було організовано у форматі огляду літератури. Пошук наукових джерел згідно із поставленою метою дослідження забезпечувався через систему Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) за ключовими словами «intraoral scanning», «accuracy», «intraoral scanner», «trueness», «precision», «intraoral scanning technology» при різних їхніх комбінаціях з використанням функцій розширеного пошуку. Всього було проаналізовано 30 джерел літератури, включаючи клінічні дослідження та огляди, опубліковані в періодичних виданнях щодо порівняння різних моделей ІОС, враховуючи вплив різних факторів, які можуть потенційно визначати точність сканування. **Результати дослідження та їх обговорення.** Різні моделі внутрішньоротового сканування можуть суттєво відрізнятися за точністю, крім того існує багато факторів, що впливають на правдивість і прецизійність цифрових відбитків: апаратне та програмне забезпечення, досвід лікаря, характеристики поверхні сканування, різні технології та механізми обробки інформації, принципи сканування, тип, колір та формування отриманого зображення, матеріал поверхні, дизайн препарування зуба, ширина і геометрія зубних рядів, а також стратегія сканування. Крім того, вибір відповідного матеріалу для еталонної стандартної моделі (наприклад, металу, пластику) має вирішальне значення, оскільки оптичне відображення поверхні відіграє значну роль у визначенні точності відбитка, що необхідно враховувати при оцінці результатів сканування. **Висновки.** Результати проведеного огляду літератури та аналітичного опрацювання даних, наведених у попередніх дослідженнях, продемонстрували значну різницю у правдивості та прецизійності між різними системами інтраорального сканування. Жоден із проаналізованих факторів впливу не може вважатися відповідальним за критичні відмінності в отриманих результатах точності сканування, зареєстрованих при порівнянні різних систем внутрішньоротового сканування.

Ключові слова: інтраоральний сканер, цифрова стоматологія, правдивість, прецизійність, стоматологічне лікування, діагностика, зуб, зубний ряд, ротова порожнина, фактори впливу.

Nesterenko Mariia Leonidivna, Teaching Assistant, Department of Restorative Dentistry, SHEI "Uzhhorod National University", mariia.nesterenko@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4504-2947>, Uzhhorod, Ukraine

Goncharuk-Khomyn Myroslav Yuriyovych, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Restorative Dentistry, Academic Editor of *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*, SHEI "Uzhhorod National University", myroslav.goncharuk-khomyn@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7482-3881>, Uzhhorod, Ukraine

Comparative characteristics of trueness and precision among intraoral scanners (literature review)

Introduction. Taking into account that intraoral scanners have become a key tool for obtaining high-precision three-dimensional images of teeth and jaws, the importance of analyzing the trueness and precision of various intraoral scanning systems remains a pressing task to ensure the accuracy and effectiveness of dental treatment, and which may also contribute to updating the criteria for choosing the most optimal equipment depending on the clinical situation and the influence of various factors that need to be taken into account.

Objective. To study and systematize literature data on the parameters of trueness and precision of various intraoral scanning systems, as well as to conduct a comparative analysis of accuracy parameters related with various intraoral scanning systems, taking into account the influence of various factors.

Methodology/Methods. The study was organized in the format of a literature review. The search for scientific sources in accordance with the purpose of the study was provided through the Google Scholar system (<https://scholar.google.com/>) using such keywords as "intraoral

scanning”, “accuracy”, “intraoral scanner”, “trueness”, “precision”, “intraoral scanning technology” in various combinations using advanced search functions. A total of 30 sources of literature were analyzed, including clinical studies and reviews published in periodicals and dedicated to the comparison of different intraoral scanning models, taking into account various factors that may affect the accuracy of scanning.

Results and Discussion. Different intraoral scanning models can vary significantly in scanning accuracy, and there are many factors that affect the accuracy and precision of digital impressions: intraoral scanners’ hardware and software, the experience of the doctor, the characteristics of the scanning surface, different technologies and information processing mechanisms, scanning principles, type, color and formation principles of the resulting image, surface material, tooth preparation design, width and geometry of the dentition, and scanning strategy. In addition, the choice of an appropriate material for the reference standard model (e.g., metal, plastic) is crucial, since the optical reflection of the surface plays a significant role in determining the accuracy of the impression, which must be taken into account when evaluating the scan results.

Conclusions. The results of the literature review and analytical processing of data presented in previous studies demonstrated a significant difference in accuracy and precision between different intraoral scanning systems. None of the analyzed influencing factors can be considered responsible for the critical differences in the obtained scanning accuracy results registered when comparing different intraoral scanning systems.

Key words: intraoral scanner, digital dentistry, trueness, precision, dental treatment, diagnostics, tooth, dentition, oral cavity, influential factors.

Вступ. Однією з ключових характеристик інтраоральних сканерів (ІОС) є їхня точність, яка в свою чергу складається з двох основних параметрів – правдивості та прецизійності [2, 8, 9, 24, 25]. Правдивість характеризує рівень відповідності між середнім арифметичним значенням великої кількості результатів досліджень та істинним або прийнятим еталонним значенням. Прецизійність описує здатність сканера повторно створювати однакові результати при скануванні того ж об’єкта, тобто демонструє ступінь відповідності між результатами дослідження [10, 15, 24, 25, 26].

Інтраоральні сканери відрізняються тим, що використовують різні технології та механізми обробки інформації, включаючи принципи сканування, методологія збору даних, патерни відтворення типу, кольору та репрезентації отриманого зображення в цілому, що впливає на правдивість та прецизійність отриманих сканів [1, 18, 24, 25, 29].

Досконала система ІОС повинна реконструювати і відтворювати якомога точніше поверхню сканованого об’єкта, тобто володіти високою правдивістю, а також мати високу прецизійність, що дозволяє отримувати стабільні та репродуктивні результати без будь-яких відхилень при скануванні одного і того ж об’єкта декілька раз [13, 14, 18, 19, 20, 29, 30].

Враховуючи те, що інтраоральні сканери стали ключовим інструментом для отримання високоточного тривимірного зображення зубів і щелеп, важливість аналізу правдивості та прецизійності різних системи ІОС залишається актуальним завданням для забезпечення точності та ефективності стоматологічного лікування, а також сприятиме актуалізації критеріїв при виборі найбільш оптимального обладнання залежно від клінічної ситуації та впливу різноманітних чинників, які потрібно враховувати при скануванні.

Мета. Вивчити та систематизувати дані літератури щодо параметрів правдивості та прецизійності варіативних систем інтраорального сканування, а також провести порівняльний аналіз даних точності досліджуваних систем між собою, враховуючи вплив різних факторів.

Методологія та методи дослідження. Дослідження передбачало проведення огляду літератури для систематизації даних щодо параметрів правдивості та прецизійності різних систем інтраоральних сканерів. Пошук наукових публікацій, дотичних до поставленої мети

дослідження, проводився через систему Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) за ключовими словами «intraoral scanning», «accuracy», «intraoral scanner», «trueness», «precision», «intraoral scanning technology».

Контент-аналіз вмісту відібраних статей був реалізований у відповідності до наступних категорій:

1) правдивість системи інтраорального сканування (наскільки точно результати сканування відповідають реальним фізичним параметрам об’єкта; при аналізі враховувалися еталонні дані, наприклад, результати сканування високоточними лабораторними сканерами);

2) прецизійність системи інтраорального сканування (здатність сканера повторно фіксувати ідентичні результати при скануванні одного й того самого об’єкта декілька разів);

3) порівняльні характеристики різних моделей інтраоральних сканерів в залежності від технології отримання зображення, програмного забезпечення та впливу різних факторів.

Групування та аналітичне опрацювання даних проводилося у табличному редакторі Microsoft Excel 2021 (Microsoft Office 2021, Microsoft, США).

Виклад основного матеріалу дослідження. Три-вимірний (3D) порівняльний аналіз представляє собою підхід, що використовується для вимірювання точності ІОС, який передбачає співставлення двох поверхонь після їх вирівнювання між собою. По суті для оцінки точності ІОС підхід передбачає порівняння між файлом стандартної мови теселяції (*.stl), отриманим від цільового ІОС, і *.stl-файлом еталонного сканування за допомогою функції алгоритму найкращого підбору. Результатом такого порівняння є лінійні відхилення між двома наборами даних сканування (еталонним та порівнюваним) [4, 5, 6, 7].

Незалежно від компанії-виробника роботу системи інтраорального сканування можна розділити на три етапи: захоплення зображення, обробка даних і відображення результатів сканування. Найбільш вагомим етапом, який впливає на продуктивність різних сканерів є саме процес захоплення зображення, який може бути забезпечений різними технологіями [1, 3, 4, 5, 9]. Триангуляція передбачає визначення місцезнаходження точки в трьохмірному просторі на основі її проєкцій на два або більше зображень. При реалізації принципу конфокальної мікроскопії використовується сфокусований лазерний промінь для створення нече-

ликого точкового освітлення на зразку, що дозволяє отримати зображення з високою роздільною здатністю. Метод тривимірної відеореєстрації в русі використовує принцип триангуляції між відповідними точками у двох проекціях однієї і тієї ж ділянки під різними кутами [22].

В дослідженні Winkler J. та колег оцінювали точність двох широко використовуваних інтраоральних сканерів (TRIOS 3, 3Shape і CS 3600, Carestream), застосовуючи в якості еталонного промисловий сканер (Artec Space Spider) [28]. Результати показали, що TRIOS 3 продемонстрував дещо вищу прецизійність (приблизно на 10 мкм) порівняно з CS 3600, але тільки після суперімпозиції отриманих зображень на всю зубну дугу. При цьому обидва інтраоральні сканери продемонстрували високі рівні продуктивності та правдивості (середнє значення: 0,0154 мм; $p > 0,05$). Таким чином, на досліджуваних моделях окремих сегментів зубного ряду обидва сканери характеризувалися співмірною точністю, тоді як при скануванні всієї зубної дуги TRIOS 3 продемонстрував кращу прецизійність [28].

Метою дослідження Nagy Z. та колег була перевірка розробленого нового методу, який передбачає обрахунків відхилення заданих ідентичних точок між еталонними та тестовими моделями та ідентифікує похибку, спричинену зшиванням окремих зображень [17]. Апробація даного методу проводилась шляхом порівняння правдивості семи ІОС (Element 1, Element 2, Emerald, Omnicam, Planscan, Trios 3, CS 3600) з аналоговим еластомерним відбитком, оцифрованим лабораторним сканером [17]. Результати показали, що середнє відхилення, отримане після оцифрування звичайного відбитка (53 ± 2 мкм) достовірно не відрізнялося від такого при роботі з Trios 3 (156 ± 8 мкм) і CS 3600 (365 ± 29 мкм), але було значно нижчим, ніж при роботі з Element 1 (531 ± 26 мкм), Element 2 (246 ± 11 мкм), Emerald (317 ± 13 мкм), Omnicam (174 ± 11 мкм) та Planscan (903 ± 49 мкм) [17]. Згідно з результатами цього дослідження правдивість і прецизійність показали позитивну кореляцію. Слід відмітити, що прецизійність статично дорівнює середньоквадратичному відхиленню правдивості, тому незначна різниця досліджуваного показника між сканерами не завжди свідчить про те, що один сканер кращий за інший. Крім того, високе стандартне відхилення (низька прецизійність) може приховувати відмінності у значеннях правдивості [17].

У роботі Falih M.Y. та колег було проаналізовано правдивість і прецизійність восьми інтраоральних сканерів (Medit i700, Planscan Emerald S, CEREC Primescan, TRIOS 3, CS3600, MEDIT i500, Heron 3Disc та Cerec Omnicam) [5]. Правдивість вимірювали шляхом накладання сканованого набору даних, отриманого за допомогою ІОС, і сканованого набору даних, виконаного за допомогою референтного лабораторного сканера (In Lab Medit T710) [5]. Результати протестованих ІОС показали значні відмінності в правдивості та прецизійності, при цьому Medit i700 та CEREC Primescan продемонстрували найвищу прецизійність без суттєвої різниці між ними, тоді як Medit i700 показав найвищу правдивість порівняно з іншими ІОС [5]. Незважаючи на схожість технології сканування Medit i700 та Medit

i500, Medit i700 показав більшу точність, що може бути пов'язано зі збільшення кількості кадрів в секунду (FPS) – до 70 для Medit i700 у порівнянні з 30 FPS для Medit i500 [5]. Результати цього дослідження також показали, що CEREC Primescan має схожу точність з Medit i700, незважаючи на відмінності в технології сканування, що можна пояснити інноваційним датчиком Smart Pixel Sensor, який притаманний лише CEREC Primescan, і дозволяє здійснювати «динамічне сканування глибини». Крім того, CEREC має автоматичну систему виявлення вібрації, яка дозволяє асимілювати зображення за умови, що камера повністю нерухома [5].

Kachhara S. та колеги довели перевагу точності ІОС на основі технології активної дискретизації хвильового спектру (AWS) та провели систематичний огляд, в якому оцінили вісім досліджень *in vitro*, де порівнювали відхилення, які виникали по довжині і куту між скан-абатментами імплантатів. Результати дослідження показали, що технологія AWS забезпечує найменшу кількість похибок [10]. Результати даного дослідження співпадають з результатами, отриманими Kim R.J.Y. та колегами, які оцінювали точність дев'яти ІОС з різними технологіями для повного сканування зубного ряду. Дослідники підтвердили вплив технології сканування на точність ІОС, а також те, що технологія AWS забезпечує найкращі результати правдивості [11].

Однак, вищезазначені висновки, навпаки, суперечать результатам дослідження Park J.M. та колег, які не змогли встановити, яка технологія є найкращою для досягнення найбільш точного результату сканування [20].

Важливою причиною розбіжностей у точності протестованих ІОС можуть бути відмінності у стратегії сканування. Наукові дослідження показали значущу роль використовуваного протоколу сканування у розрізі можливості отримання точних результатів. Одна з таких стратегій ґрунтується на лінійному русі, який починається з усіх оклюзійно-піднебінних поверхонь, а потім продовжується на щічний поверхні. Ця стратегія використовувалася для Medit i700, Medit i500, Trios та Heron 3DISC відповідно до рекомендацій їхніх виробників [8]. Richert R. та колеги припустили, що ця стратегія здатна обмежити локальні похибки, оскільки вона завершує процес захоплення в початковому положенні, уникаючи загальної односторонньої помилки [25]. З перевагою вищезазначеної стратегії погодилися Stefanelli L.V., Müller P. та колеги, які виявили, що дана стратегія сканування є більш точною з точки зору правдивості та прецизійності, бо вона забезпечує отримання зображення поверхні без переривань, що створює меншу кількість похибок [16, 27]. З іншої сторони, Oh K. та колеги припустили, що стратегія сканування не має значного впливу на точність ІОС, відтак даний аспект залишається питанням дискусії [19].

В дослідженні Nulty A.B. досліджували точність сканування всього зубного ряду при використанні дев'яти цифрових інтраоральних сканерів (Omnicam 4.6; Omnicam 5.1; Primescan; CS 3600; Trios 3; Trios 4; Runyes; i500; DL 206), і чотирьох лабораторних сканерів (Einscan SE; 300e; E2; Ineos X5) [18]. Результати показали, що найкращу правдивість забез-

печив Primescan ($17,3 \pm 4,9$ мкм), за ним (у порядку зростання відхилення) йшли Trios 4 ($20,8 \pm 6,2$ мкм), i500 ($25,2 \pm 7,3$ мкм), CS3600 ($26,9 \pm 15,9$ мкм), Trios 3 ($27,7 \pm 6,8$ мкм), Runyes ($47,2 \pm 5,4$ мкм), Omnicam 5.1 ($55,1 \pm 9,5$ мкм), Omnicam 4.6 ($57,5 \pm 3,2$ мкм) та Launsa DL 206 ($58,5 \pm 22,0$ мкм). Серед лабораторних сканерів, Ineos X5 мав найкращу загальну правдивість ($0,0 \pm 1,9$ мкм), за ним (у порядку зростання відхилення) йдуть 3Shape E2 ($3,6 \pm 2,2$ мкм), Up3D 300E ($12,8 \pm 2,7$ мкм) та Einscan SE ($14,9 \pm 9,5$ мкм) [18].

Це дослідження підтверджує, що всі сучасні покоління інтраоральних цифрових сканерів можуть забезпечити якісне сканування всього зубного ряду, однак з усіх протестованих IOC жоден не був позбавлений відхилень у точності сканування [18]. Однак вищезазначене дослідження має ряд обмежень та повністю не відтворює реальну клінічну ситуацію, враховуючи те, що під час сканування досліджується різна природа поверхонь і конструкцій, включаючи різні реставраційні матеріали, дентин, емаль і м'які тканини, які також впливають на загальну точність IOC [18].

Метою дослідження Revilla-León M. та колег було визначення впливу умов освітлення на точність різних IOC, використовуючи екстраоральний сканер (L2i; Imetric) для отримання еталонного стандартного файлу та інтраоральні сканери DiTero Element, CEREC Omnicam і TRIOS 3d при 4-х умовах освітлення [24]. Результати показали наявність впливу умов навколишнього освітлення на точність протестованих IOC, а також значні відмінності в середніх значеннях правдивості та прецизійності між різними IOC, протестованими за однакових умов освітлення та при різних умовах освітлення для певної IOC [24]. Для iTero Element світло від стоматологічного світильника та кімнатне освітлення сприяли покращенню середніх значень точності, при цьому нульова освітленість забезпечила кращу точність для CEREC Omnicam, а для TRIOS 3 – кімнатне освітлення [24].

В дослідженні Chen Y. та колег оцінювали правдивість і прецизійність інтраоральних сканерів Trios 3 і Primescan під час сканування при різній вологості поверхні зуба (сухий, вологий, висушений струменем повітря) [2]. Середні значення відхилень, отримані при умовах вологості, були значно вищі, ніж у сухих умовах та висушеному стані, що вказує на менш точну правдивість і прецизійність при вологих умовах [2]. Результати дослідження вказують на те, що слина, кров і ясенева рідина впливають на точність результатів сканування та необхідність перевірки поверхні зуба на наявність залишків рідини перед використанням внутрішньоротового сканера [2].

Метою дослідження Ender A. та колег була оцінка точності IOC з різними конфігураціями апаратного та програмного забезпечення (TRn: Trios 3; TRi: Trios 3 insane; CS: Carestream Dental CS 3600; MD: Medit i500; iT: iTero Element 2; OC4: Cerec Omnicam 4.6.1; OC5: Cerec Omnicam 5.0.0; PS: Primescan) для повних та часткових цифрових відбитків зубних рядів в умовах *in vitro* [4]. Було виявлено статистично значущі відмінності між тестовими групами для методів повного та часткового зняття відбитків *in vitro* ($p < 0,05$) [4]. Най-

кращі значення правдивості часткових відбитків зубних рядів були виявлені для заднього сегмента щелеп ($9,7 \pm 1,2$ мкм) для аналогового методу, і для сканера Primescan ($21,9 \pm 1,5$ мкм) при застосуванні цифрового методу [4]. Вищі відхилення IOC за параметрами правдивості і прецизійності були виявлені для передніх ділянок порівняно з заднім сегментом, що, ймовірно, пов'язано зі специфічною морфологічною будовою передніх зубів [4].

У роботі Park J.M. оцінювали точність IOC (E4D dentist, Fastscan, iTero, Trios та Zfx Intrascan) при скануванні різних типів реставрацій і встановили, що середні відхилення правдивості та прецизійності сканерів Fastscan, iTero та Trios були значно нижчі, ніж у інших сканерів, при цьому відповідно до типу реставрації, достовірно вища правдивість була для коронок та вкладок [20, 21].

Метою дослідження *in vitro* Renne W. та колег було порівняння точності 6 інтраоральних сканерів і 1 лабораторного сканера при скануванні секстантів і всього зубного ряду [23]. Серед інтраоральних сканерів Planscan показав найкращу правдивість і прецизійність, в той час як 3Shape Trios виявився найменш точним для секстантного сканування [23]. Однак 3Shape Trios забезпечив найкраще поєднання швидкості і точності при скануванні всього зубного ряду [24].

Lee K.M. у своєму дослідженні *in vivo* обґрунтував різницю між двома інтраоральними сканерами iTero (Align Technology) та TRIOS (3Shape), порівнюючи отримані знімки між собою, а також з відповідними стандартними сканами за допомогою тривимірного поверхневого аналізу [12]. Результати показали, що середні відхилення між двома інтраоральними сканерами були в межах 0,07 мм, при цьому середня різниця між ними становила 0,057 мм на верхній щелепі та 0,069 мм на нижній щелепі. При аналізі відмінностей тривимірного характеру не було статистично значущої різниці між двома сканерами, незважаючи на деякі відхилення при візуальному огляді [12].

Метою дослідження Gan N. та колег було порівняння точності внутрішньоротових цифрових відбитків для всієї верхньої щелепи, а також визначення впливу різної висоти склепіння піднебіння або ширини піднебінної дуги на точність отриманих сканів за допомогою сканера TRIOS [7]. Результати показали, що для цифрових відбитків м'яких тканин піднебіння правдивість становила $130,54 \pm 33,95$ мкм, а прецизійність – $55,26 \pm 11,21$ мкм [7]. Правдивість цифрових відбитків верхніх зубних рядів була $80,01 \pm 17,78$ мкм, а прецизійність – $59,52 \pm 11,29$ мкм. Було виявлено більші відхилення між внутрішньоротовими цифровими відбитками та звичайними відбитками в ділянках м'яких тканин піднебіння, ніж в ділянках зубних рядів ($p < 0,001$) [7]. Також було виявлено, що ширина дуги має значущий вплив на точність цифрових відбитків для всього зубного ряду ($p = 0,016$) [7]. Встановлено лінійну кореляцію між шириною зубних рядів і точністю цифрових відбитків для верхніх щелеп, при цьому збільшення ширини зубних дуг провокувало зниження точності внутрішньоротового цифрового відбитка [7].

У роботі Diker B. та колег досліджували правдивість і прецизійність інтраоральних сканерів (Trios, iTero, Planmeca Emerald, Cerec Omnicam, Primescan і Virtuo Vivo) для окремих зубів, ізольованих від всього зубного ряду та вплив послідовності сканування на точність отриманих сканів [3]. Результати показали, що точність цифрових відбитків варіювалася залежно від використовуваної ІОС та послідовності сканування. Слід відмітити, що Primescan забезпечив найвищу точність, в той час як Emerald показав найбільше відхилення в точності для одного зуба [3].

В результаті проведеного огляду літератури та аналізу даних було встановлено, що на точність інтраорального сканування впливають різні фактори, такі як технологія сканера, анатомія порожнини рота пацієнта, умови навколишнього середовища. На основі проаналізованих досліджень можна припустити, що з клінічної точки зору правдивість інтраорального сканування має більше значення за прецизійність, оскільки вона відображає, наскільки відскановані дані відповідають реальності, тоді як прецизійність більше залежить від навичок оператора та знань щодо правильного використання сканерів.

Інформація про конфлікт інтересів. Конфлікт інтересів відсутній.

Інформація про фінансування. Автори гарантують, що вони не отримували жодних винагород у будь-якій формі, здатних вплинути на результати роботи.

Особистий внесок кожного автора у виконання роботи:

Гончарук-Хомин М.Ю. – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, курація даних, аналіз та перевірка вихідних даних, написання та редагування статті;

Нестеренко М.Л. – формальний аналіз, збір матеріалу дослідження, підготовка тексту статті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mourouzis P. Critical methodological factors influencing the accuracy of intraoral scanners in digital dentistry research. *Comput Biol Med.* 2025;187:109780. DOI: 10.1016/j.combiomed.2025.109780
2. Chen Y, Zhai Z, Li H, Yamada S, Matsuoka T, Ono S, et al. Influence of liquid on the tooth surface on the accuracy of intraoral scanners: an in vitro study. *J Prosthodont.* 2021 May 29;31(1):59-64. DOI: 10.1111/jopr.13358
3. Diker B, Tak Ö. Comparing the accuracy of six intraoral scanners on prepared teeth and effect of scanning sequence. *J Adv Prosthodont.* 2020 Oct 26;12(5):299-306. DOI: 10.4047/jap.2020.12.5.299
4. Ender A, Zimmermann M, Mehl A. Accuracy of complete-and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent.* 2019 Jan 1;22(1):11-19.
5. Falih MY, Majeed MA. Trueness and precision of eight intraoral scanners with different finishing line designs: A comparative in vitro study. *Eur J Dent.* 2022 Dec 13;17(4):1056-1064. DOI: 10.1055/s-0042-1757568
6. Ferrini F, Mazzoleni F, Barbini M, Coppo C, Di Domenico GL, Gherlone EF. Comparative Analysis of Intraoral Scanner Accuracy in a Six-Implant Complete-Arch Model: An In Vitro Study. *Prosthesis.* 2024;6(2):401-412. DOI: 10.3390/prosthesis6020030
7. Gan N, Xiong Y, Jiao T. Accuracy of intraoral digital impressions for whole upper jaws, including full dentitions and palatal soft tissues. *PloS one.* 2016 Jul 6;11(7):e0158800206. DOI: 10.1371/journal.pone.0158800
8. Gavounelis NA, Gogola CMC, Halazonetis DJ. The effect of scanning strategy on intraoral scanner's accuracy. *Dent J.* 2022 Jul 4; 10(7):123. DOI: 10.3390/dj10070123
9. Hwang HH, Chou C, Chen Y, Yao CC. An overview of digital intraoral scanners: past, present and future-from an orthodontic perspective. *Taiwan J Orthod.* 2018 Jan; 30(3):3. DOI: 10.30036/TJO.201810_31(3).0003
10. Kachhara S, Nallaswamy D, Ganapathy DM, Sivaswamy V, Rajaraman V. Assessment of intraoral scanning technology for multiple implant impressions – A systematic review and meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc.* 2020 Apr-Jun;20(2):141-152. DOI: 10.4103/jips.jips_379_19
11. Kim RJY, Park JM, Shim JS. Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition: A qualitative and quantitative evaluation. *J Prosthet Dent.* 2018 Jul 10;120(6):895-903. DOI: 10.1016/j.prosdent.2018.01.035
12. Lee KM. Comparison of two intraoral scanners based on three-dimensional surface analysis. *Prog Orthod.* 2018 Feb 12;19(1):6. DOI: 10.1186/s40510-018-0205-5
13. Mangano FG, Hauschild U, Veronesi G, Imburgia M, Mangano C, Admakin O. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health.* 2019 Jun 6;19(1):101. DOI: 10.1186/s12903-019-0792-7
14. Medina-Sotomayor P, Pascual-Moscardo A, Camps I. Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch. *J Prosthet Dent.* 2019 May;121(5):811-820. DOI: 10.1016/j.prosdent.2018.08.020

15. Mejía JBC, Wakabayashi K, Nakamura T, Yatani H. Influence of abutment tooth geometry on the accuracy of conventional and digital methods of obtaining dental impressions. *J Prosthet Dent*. 2017 Sep;118(3):392-399. DOI: 10.1016/j.prosdent.2016.10.021
16. Müller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int*. 2016 Apr 1;47(4):343-349. DOI: 10.3290/j.qi.a35524
17. Nagy Z, Simon B, Mennito A, Evans Z, Renne W, Vág J. Comparing the trueness of seven intraoral scanners and a physical impression on dentate human maxilla by a novel method. *BMC Oral Health*. Apr 7;20 (97):1-10. DOI: 10.1186/s12903-020-01090-x
18. Nulty AB. A comparison of full arch trueness and precision of nine intra-oral digital scanners and four lab digital scanners. *Dent J*. 2021 Jun 23;9(7):75. DOI: 10.3390/dj9070075
19. 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. *J Prosthodont*. 2020 Jun 26;29(6):518-523. DOI: 10.1111/jopr.13158
20. Park JM, Kim RJY, Lee KW. Comparative reproducibility analysis of 6 intraoral scanners used on complex intracoronal preparations. *J Prosthet Dent*. 2019 Apr 23;123(1):113-120. DOI: 10.1016/j.prosdent.2018.10.025
21. Park JM. Comparative analysis on reproducibility among 5 intraoral scanners: sectional analysis according to restoration type and preparation outline form. *J Adv Prosthodont*. 2016 Oct 21;8(5): 354-362. DOI: 10.4047/jap.2016.8.5.354
22. Rathee M, Narwal S, Mittal S, Tomar S, Diwan K, Balavignesh S. Intraoral Scanners in Dentistry: A Review. *HTAJOCD*. 2024 Jan-Feb;16(3):41-44. DOI: 10.5281/zenodo.10682713
23. Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*. 2017 Jul; 118(1):36-42. DOI: 10.1016/j.prosdent.2016.09.024
24. Revilla-León M, Jiang, P, Sadehpour M, Piedra-Cascón W, Zandinejad A, Özcan M, et al. Intraoral digital scans – Part 1: Influence of ambient scanning light conditions on the accuracy (trueness and precision) of different intraoral scanners. *J Prosthet Dent*. 2020 Sep; 124(3):372-378. DOI: 10.1016/j.prosdent.2019.06.003
25. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, Ducret M. Intraoral scanner technologies: a review to make a successful impression. *J Healthc Eng*. 2017 Sept 5;1:8427595. DOI: 10.1155/2017/8427595.
26. Sindhu S, Maiti S, Nallaswamy D. Factors affecting the accuracy of intraoral scanners-a systematic review. *Ann Dent Specy*. 2023;11(1-2023):40-52. DOI: 10.51847/izu17ACVUd
27. Stefanelli LV, Franchina A, Pranno A, Pellegrino G, Ferri A, Pranno N, et al. Use of intraoral scanners for full dental arches: could different strategies or overlapping software affect accuracy?. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Sep 22;18(19):9946. DOI: 10.3390/ijerph18199946
28. Winkler J, Gkantidis N. Trueness and precision of intraoral scanners in the maxillary dental arch: an in vivo analysis. *Sci Rep*. 2020 Jan 24; 10(1):1172. DOI: 10.1038/s41598-020-58075-7
29. Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. Intraoral scanning systems-a current overview. *Int J Comput Dent*. 2015 Jan 1;18(2):101-129. DOI: 10.5167/uzh-120044
30. Zimmermann M, Ender A, Mehl A. Local accuracy of actual intraoral scanning systems for single-tooth preparations in vitro. *J Am Dent Assoc*. 2020;151(2):127-135. DOI: 10.1016/j.adaj.2019.10.022