

**Шекера Оксана Олегівна,**

кандидат медичних наук, доцент,  
докторант ННІ стоматології та лабораторної медицини,  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
ORCID ID: 0000-0002-3584-1024  
м. Ужгород, Україна

**Пальчиков Анатолій Володимирович,**

кандидат медичних наук,  
докторант ННІ стоматології та лабораторної медицини,  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
ORCID ID: 0000-0001-5565-6224  
м. Ужгород, Україна

## АПРОБАЦІЯ КЛІНІЧНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНКИ ГЛИБИНИ ПАРОДОНТАЛЬНОГО ЗОНДУВАННЯ НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ ДАНИХ

**Вступ.** Попри повідомлену прецизійність та адаптованість технології інтраорального сканування до потреб проведення діагностичних процедур пов'язаних із аналізом змін, котрі локалізуються на зовнішній поверхні зубів та ясен, досі продовжують вивчатися можливості сканування щодо об'єктивізації інтра- та субгінгівальних змін, котрі відмічаються у пацієнтів з пародонтитом.

**Мета дослідження.** Апробувати можливість реалізації підходу цифрового пародонтального зондування на основі суміщення даних інтраорального сканування та конусно-променевої комп'ютерної томографії.

**Матеріали та методи.** Досліджувана вибірка пацієнтів була умовно розділена на таких, які характеризувалися відсутністю клінічних ознак генералізованого та/або локалізованого пародонтиту (8 осіб), та таких, в котрих були верифіковані ознаки генералізованого пародонтиту, або ж локалізованого пародонтиту в проекції досліджуваних одиниць зубного ряду (9 осіб). До кінцевої вибірки досліджуваних зубів було включено 127 одиниць зубного ряду, з них 48 були представлені зубами без ознак патології тканин пародонту, і 79 – з ознаками наявності пародонтиту. Пародонтологічне зондування проводилося із використанням зонда дизайну UNC-15. Цифрове пародонтологічне зондування представляло собою процедуру вимірювання вертикального рівня ясен за даними інтраорального сканування відносно маргінального їх краю і до зареєстрованого положення рівня кісткового гребеня за даними конусно променевої компютерної томографії.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Середні відмінності параметрів глибини цифрового пародонтологічного зондування та клінічного зондування у вибірці 48 зубів без ознак патології тканин пародонту склали  $2,08 \pm 1,32$  мм, тоді як у вибірці зубів з ознаками ураження пародонту –  $1,14 \pm 1,38$  мм, різниця між котрими була статистично підтвердженою ( $p < 0,0001$ ). Показники кореляції між значеннями глибини цифрового пародонтологічного зондування та такого, визначеного клінічно внутрішньоротово із використанням спеціалізованого зонда, склали  $r = 0,68$  ( $p < 0,05$ ) для усієї вибірки 127 проаналізованих зубів, при цьому однак показник кореляції для вищезазначених параметрів вибірки проаналізованих зубів без ознак патології пародонту сягав  $r = 0,56$  ( $p < 0,05$ ), а для вибірки зубів з ознаками ураження оточуючого пародонту –  $r = 0,71$  ( $p < 0,05$ ).

**Висновки.** Встановлено наявність статистично значущого позитивного кореляційного зв'язку між показниками глибини, визначеними цифровим методом, та результатами клінічного зондування, що свідчить про потенційну діагностичну цінність запропонованого підходу. Водночас виявлено, що точність цифрового зондування є вищою у ділянках із наявними ознаками пародонтиту, ніж в проекції зубів з клінічно здоровим станом тканин пародонту. При цьому на результати цифрового зондування суттєво впливають технічні фактори, зокрема якість інтраорального сканування, параметри КПКТ (у тому числі розмір вокселя), а також точність алгоритмів суміщення даних різної модальності, які в подальших дослідженнях повинні бути стандартизовані.

**Ключові слова:** пародонт, зондування, діагностика, цифрова стоматологія, інтраоральний сканер, конусно-променева комп'ютерна томографія.

© Шекера О. О., Пальчиков А. В., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

**Shekera Oksana Olehivna**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Doctorate Researcher of Educational and Scientific Institute of Dentistry and Laboratorial Medicine, Uzhhorod National University; ORCID ID: 0000-0002-3584-1024, Uzhhorod, Ukraine

**Palchykov Anatolii Volodymyrovych**, Candidate of Medical Sciences, Doctorate Researcher of Educational and Scientific Institute of Dentistry and Laboratorial Medicine, Uzhhorod National University; ORCID ID: 0000-0001-5565-6224, Uzhhorod, Ukraine

## APPROBATION OF CLINICALLY ORIENTED APPROACH TO ASSESS PERIODONTAL PROBING DEPTH BASED ON DIGITAL DATA

**Introduction.** Despite the reported precision and adaptability of intraoral scanning technology to the needs of diagnostic procedures related with analysis of changes localized on the outer surface of the teeth and gingiva, possibilities of IOS for objectifying intra- and subgingival changes observed in patients with periodontitis are still being studied.

**Objective of the research.** To test the possibility of implementing the approach targeted at digital periodontal probing based on the combination of intraoral scanning data and cone-beam computed tomography.

**Materials and methods.** Studied sample of patients was conditionally divided into those who were characterized with the absence of clinical signs of generalized and/or localized periodontitis (8 patients), and those in whom signs of generalized periodontitis or localized periodontitis were verified within the projection of the studied teeth (9 patients). Final sample of studied teeth included 127 objects, of which 48 were represented by teeth without signs of periodontal tissue pathology, and 79 were represented with signs of periodontitis. Periodontal probing was performed using UNC-15 design of periodontal probe. Digital periodontal probing was held as procedure for measuring the vertical level of the gingiva from its marginal level registered on intraoral scan and to the registered position of the bone crest level according to cone beam computed tomography.

**Results and discussions.** Average differences in the depth parameters measured by digital periodontal probing and clinical probing within a sample of 48 teeth without signs of periodontal tissue pathology were  $2,08 \pm 1,69$  mm, while in a sample of teeth with signs of periodontal disease it was  $1,14 \pm 1,85$  mm, and the difference between such was statistically confirmed ( $p < 0,05$ ). Correlation coefficients between the depth value of digital periodontal probing and that determined clinically intraoral using a specialized probe were  $r = 0,68$  ( $p < 0,05$ ) for the entire sample of 127 analyzed teeth, however, the correlation coefficient for the above parameters among the subsample of analyzed teeth without signs of periodontal pathology reached  $r=0.56$  ( $p<0.05$ ), and for the sample of teeth with signs of surrounding periodontal tissue pathology  $-r = 0,71$  ( $p < 0,05$ ).

**Conclusions.** Statistically significant positive correlation was established between the depth values determined by the digital method and the results of clinical probing, which indicates the potential diagnostic value of the approbated approach. At the same time, it was found that the accuracy of digital probing is higher in areas with signs of periodontitis than in the projection of teeth with clinically healthy periodontal tissues. At the same time, the results of digital probing are significantly influenced by technical factors, in particular the quality of intraoral scanning, CBCT parameters (including voxel size), as well as the accuracy of algorithms for combining data from different modalities, which should be standardized in further studies.

**Key words:** periodontium, probing, diagnostics, digital dentistry, intraoral scanner, cone beam computed tomography.

**Вступ.** В умовах прогресуючого тренду цифровізації стоматології в цілому значно розширюються і можливості до імплементації окремих цифрових рішень в клінічну пародонтологічну практику [1]. Досвід використання даних конусно-променевої комп'ютерної томографії, цифрових пародонтологічних карт, автоматизованих систем аналізу даних рентгенографії, а також систем електронного пародонтологічного зондування та фотографічного скринінгу, як прикладів цифрових рішень в пародонтологічній практиці широко описаний в літературі, а також підтверджений фактичною клінічною застосованістю даних підходів [2, 3, 4]. Проте пул цифрових інструментів в стоматологічній практиці продовжує розширюватися, демонструючи тенденцію до збільшення частки використання технології інтраорального сканування не тільки як цифрової альтернативи аналоговому відбитку, але й як складової комплексної діагностики та планування відповідних втручань [2, 5, 6, 7].

Зокрема Jung K. та колеги описали досвід використання внутрішньоротових сканів для об'єктивізації обсягу зубного нальоту з використанням методів планіметрії, що в подальшому може бути використано для оцінки зв'язків із ознаками гінгівіту [5]. Hassan M. та колеги запропонували проводити колориметричний аналіз сканів для ідентифікації запальних змін ясен, використовуючи для цього скрипт MATLAB для квантифікації параметрів систем кольористичних координат HSV та CIELAB [8]. Крім того результати по-

редніх прикладних досліджень продемонстрували, що інтраоральні скани з високим рівнем точності та репродуктивності результатів можуть бути застосовані для квантифікації параметрів ширини кератинізованих ясен, а також вираженості рецесій [9, 10]. Lee J.-S. та колеги обґрунтували, що цифрові внутрішньоротові скани навіть є більш точнішими, ніж клінічні вимірювання з точки зору оцінки параметрів кератинізованих ясен: в порівнянні із гістологічними референтними зразками вимірювання на інтраоральних сканах характеризувалися похибкою по відношенню до фактичної ширини кератинізації на зовнішній поверхні ясен в діапазоні 0,04–0,1 мм, тоді як похибка клінічних вимірювань при аналогічній методології оцінки складала 1,05–1,11 мм [11]. Варто зазначити, що вимірювання проведені на інтраоральних сканах з метою діагностики низки пародонтологічних параметрів в цілому характеризуються вищим рівнем узгодженості та відтворюваності в ході повторної оцінки, ніж такі реалізовані клінічно внутрішньоротово [11].

Однак попри повідомлену прецизійність та адаптованість технології інтраорального сканування (ІОС) до потреб проведення діагностичних процедур пов'язаних із аналізом змін, котрі локалізуються на зовнішній поверхні зубів та ясен, досі продовжують вивчатися можливості ІОС щодо об'єктивізації інтра- та субгінгівальних змін, котрі відмічаються у пацієнтів з пародонтитом. Зокрема у огляді літератури, проведеному Caron T. та колегами, було

повідомлено, що найменша кількість публікацій, присвячених використанню технології інтраорального сканування в пародонтологічній практиці, стосується саме використання такої для оцінки глибини пародонтального зондування, тоді як найбільша кількість публікацій була присвячена оцінці лінійних та об'ємних змін ясен [6].

Водночас подальше вивчення можливостей цифрового пародонтологічного зондування є доцільним з огляду на його потенціал щодо підвищення об'єктивності та стандартизації діагностичних вимірювань у пародонтології [12]. На відміну від традиційного клінічного зондування, результати якого можуть варіювати залежно від сили натиску, досвіду лікаря та анатомічних особливостей тканин [13, 14], цифровий підхід забезпечує можливість отримання відтворюваних та кількісно обґрунтованих даних. Крім того, інтеграція цифрових моделей дозволяє здійснювати ретроспективний аналіз змін, моніторинг динаміки захворювання та об'єктивну оцінку ефективності лікування. З урахуванням стрімкого розвитку цифрових технологій, удосконалення алгоритмів обробки зображень та зростання доступності відповідного обладнання, цифрове пародонтологічне зондування має потенціал стати важливим інструментом повсякденного стоматологічного прийому.

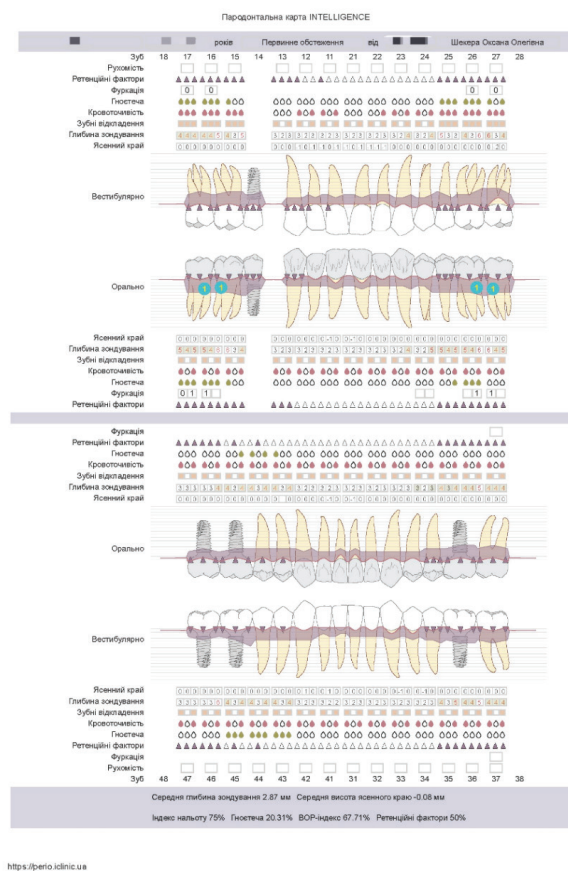
**Мета.** Апробувати можливість реалізації підходу цифрового пародонтального зондування на основі суміщення даних інтраорального сканування та конусно-променевої комп'ютерної томографії.

**Матеріали та методи.** В ході дослідження було проведеного клінічний огляд 17 стоматологічних пацієнтів з різним станом пародонтологічного статусу на базі клініки «Intelligence Medical Clinic» (Київ, Україна). Відбір пацієнтів проводився із пулу таких, котрим попередньо проводилося рентгенологічне обстеження з використанням методу конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ) в термін до одного місяця перед датою реалізації процедури пародонтологічного зондування згідно сформульованого дизайну дослідження, за умови що за період від часу проведення КПКТ пацієнтам не проводилося жодних маніпуляцій, котрі могли б критично впливати на зміну глибини ясеневі боріздки чи пародонтальної кишені. Уніфікація умов виконання КПКТ з урахуванням потреби в мінімізації додаткового радіаційного навантаження в умовах даного дослідження не проводилась, і в ході аналізу послуговувалися рентгенологічними даними уже наявними в пацієнтів на момент проведення дослідження.

У випадках, якщо ятрогенні втручання проводилися в проекції окремих зубів і не становили значущого впливу на стан інших зубів, які могли бути включені для дослідження, одиниці зубного ряду, в проекції котрих були проведенні відповідні маніпуляції, не приймалися до уваги в ході проведення дослідження.

Досліджувана вибірка пацієнтів була умовно розділена на таких, які характеризувалися відсутністю клінічних ознак генералізованого та/або локалізованого пародонтиту (8 осіб), та таких, в котрих були верифіковані ознаки генералізованого пародонтиту,

або ж локалізованого пародонтиту в проекції досліджуваних одиниць зубного ряду (9 осіб). Пародонтологічне зондування проводилося із використанням зонда дизайну UNC-15 (University of North Carolina) (Hu-Friedy Mfg. Co., Німеччина) із маркуванням кожного міліметра [15], та здійснювалося лікарем-пародонтологом, попередньо каліброваним для проведення даної маніпуляції, з 25 річним клінічним досвідом. Усі дані пародонтологічного зондування були внесені у пародонтологічні карти пацієнтів (інтерактивний програмний комплекс Intelligence, [www.perio.iclinic.ua](http://www.perio.iclinic.ua), рис. 1), а також окремо були внесені та структуровані в табличному редакторі Microsoft Excel 2019 (Microsoft Office, Microsoft, США) (рис. 1).

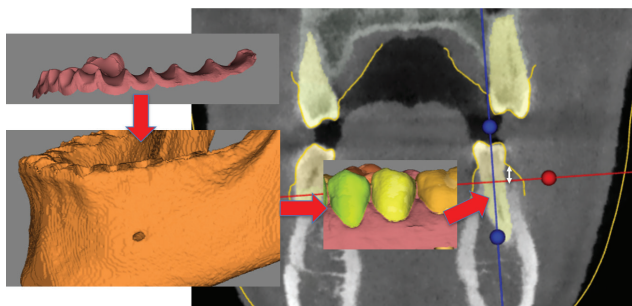


**Рис. 1. Приклад пародонтальної карти, заповненої з використанням інтерактивного програмного комплексу Intelligence, [www.perio.iclinic.ua](http://www.perio.iclinic.ua)**

Перед проведенням пародонтологічного зондування пацієнтам було проведено процедуру інтраорального сканування з використанням апарату Medit i500 (Medit Corp., Сеул, Корея). Процедура інтраорального сканування проводилася лікарем-ортопедом із 10-річним досвідом застосування даної технології в клінічній практиці, дотримуючись стратегії сканування, рекомендованої виробником. За неможливості забезпечення належної якості інтраорального скану в проекції окремих зубів по причині просторового розміщення, локалізації, структурного стану таких, або ж патологічних змін оточуючих ясен, дані зуби не приймалися до уваги в якості об'єктів дослідження.

Приймаючи до уваги вищезазначені критерії щодо виключення окремих одиниць зубного ряду з причини проведення втручань в проекції таких, або ж впливу проведених втручань на стан пародонту таких в період після проведення КПКТ і до моменту проведення даного дослідження, або ж при неможливості отримання якісного скану з проекції таких без необхідності проведення додаткових маніпуляцій із внутрішньоротовим сканом як графічним об'єктом, а також виключення окремих зубів з дослідження з причини наявності виражених графічних артефактів в проекції таких на КПКТ зрізах, до кінцевої вибірки досліджуваних зубів було включено 127 одиниць зубного ряду. З них 48 були представлені зубами без ознак патології тканин пародонту, і 79 – з ознаками наявності пародонтиту.

Отримані внутрішньоротові скани зубів та отримані набори даних КПКТ відповідних пацієнтів суміщалися в програмному забезпеченні з використанням відповідних функцій онлайн-сервісу Relu® Creator (Relu BV, Нідерланди) (рис. 2). Цифрове пародонтологічне зондування представляло собою процедуру вимірювання вертикального рівня ясен за даними інтраорального сканування відносно маргінального їх краю і до зареєстрованого положення рівня кісткового гребеня з використання інструменту «Лінійка» у спеціалізованому програмному забезпеченні згідно підходу аналогічного такого, описаного Chung H.-M. та колегами [12].



**Рис. 2. Схематичне зображення процесу цифрового пародонтологічного зондування, базуючись на сегментованих даних інтраорального сканування, КПКТ та їх суперімпозиції в програмному забезпеченні Relu® Creator**

Для кожного із досліджуваних зубів були формовані два набори даних: показники глибини цифрового пародонтологічного зондування та показники клінічно-визначеної глибини, встановленої з використання пародонтологічного зонда внутрішньоротово. Для обох підходів зондування проводили в шести точках (посередині язикової / піднебінної поверхонь, посередині вестибулярної поверхні, а також на рівновіддалених відстанях від зазначених точок в напрямку дистальної та мезіальної поверхонь зуба з проекцій язикової/піднебінної та вестибулярної поверхонь). При визначенні глибини цифрового пародонтологічного зондування в проекції зазначених точок перед безпосереднім вимірювання проводили крос-секційні зрізи графічних об'єктів для спрощення процедури виконання замірів.

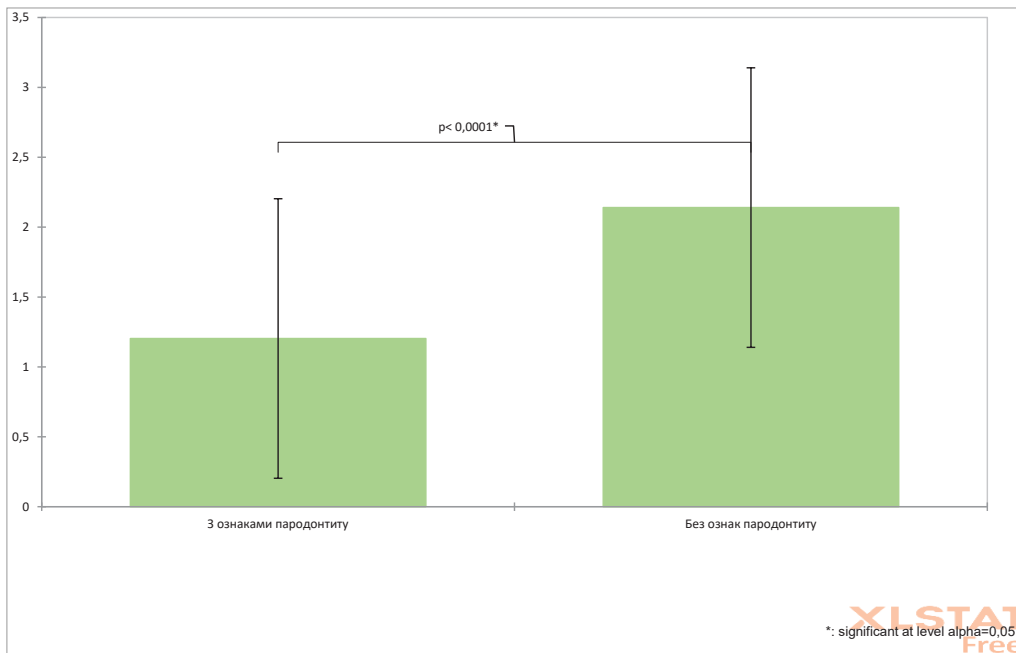
Статистичну обробку результатів проводили з використанням програмного забезпечення Microsoft

Excel 2019 (Microsoft Office, Microsoft, США) та додаткових плагінів. Для кількісних показників глибини пародонтологічного зондування (цифрового та клінічного) обчислювали середні значення (M) та стандартні відхилення (SD). Порівняння середніх значень між групами зубів без ознак патології пародонту (n=48) та зубів із пародонтитом (n=79) проводили з використанням t-критерію Стьюдента для незалежних вибірок. Для оцінки взаємозв'язку між показниками глибини цифрового та клінічного пародонтологічного зондування застосовували кореляційний аналіз із визначенням коефіцієнта кореляції Пірсона (r) для всієї вибірки (n=127), а також окремо для підгруп зубів без патології та з ознаками пародонтиту. Статистичну значущість отриманих результатів констатували при рівні  $p < 0,05$ .

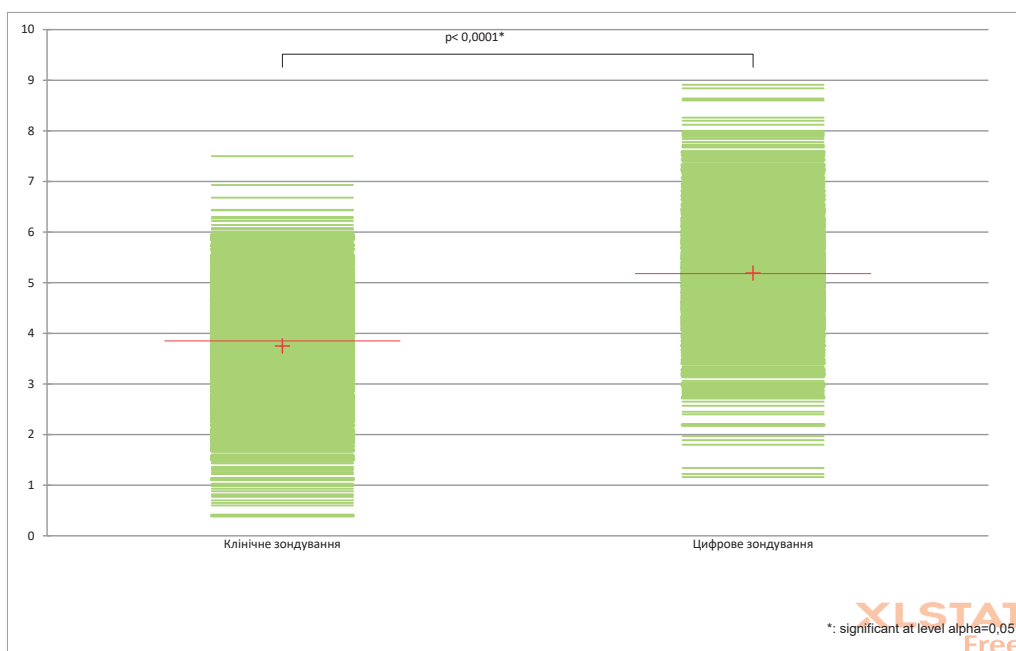
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Середні відмінності параметрів глибини цифрового пародонтологічного зондування та клінічного зондування у вибірці 48 зубів без ознак патології тканин пародонту складала  $2,08 \pm 1,32$  мм, тоді як у вибірці зубів з ознаками ураження пародонту –  $1,14 \pm 1,38$  мм, різниця між котрими була статистично підтвердженою ( $p < 0,0001$ ) (рис. 3–4).

Показники кореляції між значеннями глибини цифрового пародонтологічного зондування та такого, визначеного клінічно внутрішньоротово із використанням спеціалізованого зонда, складала  $r = 0,68$  ( $p < 0,05$ ) для усієї вибірки 127 проаналізованих зубів, при цьому однак показник кореляції для вищезазначених параметрів вибірки проаналізованих зубів без ознак патології пародонту сягав  $r = 0,56$  ( $p < 0,05$ ), а для вибірки зубів з ознаками ураження оточуючого пародонту –  $r = 0,71$  ( $p < 0,05$ ). Відтак при обидвох досліджуваних сценаріях між параметрами глибини цифрового та клінічного пародонтологічного зондування були відмічені позитивні статистично-підтверджені кореляції, і попри те, що направленість таких була аналогічною, їхня вираженість відрізнялася для сценаріїв зубів з ознаками ураження пародонту та без таких.

Попередньо в роботі Chung H.-M. та колег було відмічено, що пародонтологічне зондування на основі блендингу цифрових зображень інтраорального сканування та конусно-променевої комп'ютерної томографії по суті представляє собою вимірювання супраальвеолярної висоти ясен, параметр котрого відрізняється від критерію глибини пародонтальних кишень [12]. При цьому середня різниця між показниками супраальвеолярної висоти ясен та глибини пародонтальних кишень складала  $0,82 \pm 0,69$  мм, і такі демонстрували позитивну кореляцію [12]. Важливо відмітити, що в роботі Chung H.-M. та колег вищий рівень цієї кореляції відмічався при аналізі даних, зібраних з ділянок ротової порожнини з більш клінічно вираженими ознаками пародонтиту (в проекції ділянок з кровоточивістю на зондування, в проекції ділянок без проведеного лікування, а також в проекції ділянок з більшою глибиною пародонтальних кишень) [12]. На відміну від роботи Chung H.-M. у нашому дослідженні не проводилося вихідної категоризації одиниць зубного ряду за ознаками вираженості патологічних змін в структурі пародонту, однак



**Рис. 3. Відмінності показників цифрового та клінічного зондування у вибірках досліджуваних зубів з та без ознак пародонтиту**



**Рис. 4. Різниця між показниками цифрового та клінічного зондування для усієї досліджуваної вибірки зубів**

отримані нами результати були тотожними даним Chung Н.-М. та колег, оскільки показники кореляції між глибиною пародонтального зондування визначеною за результатами суперімпозиції даних КПКТ та ІОС та такою визначеною клінічно із використанням зонда були вищими для вибірки зубів із наявними ознаками пародонтиту, аніж для вибірки зубів без ознак пародонтиту. Хоча даний статистичний ефект до певної міри частково може бути зумовленим і впливом фактору різної наповненості вибірок, оскільки кількість проаналізованих зубів з пародонтитом в 1,6 рази перевищувала кількість про-

аналізованих зубів без пародонтиту, і якщо показники глибини цифрового та клінічного пародонтологічного зондування в цілому демонструють прямі позитивні асоціації, як про це було повідомлено в роботі Chung Н.-М. [12], то збільшення обсягу досліджуваної вибірки особливо за рахунок випадків більш виражених змін, які підтверджують наявність статистичної асоціації та характеризуються меншою варіативністю і поширеністю мінімальних досліджуваних значень, потенційно може бути асоційовано із зростанням вираженості кореляції як такої, а також із можливістю об'єктивізації її значущості [16].

В попередніх роботах було відмічено, що різниця між супракрестальним вертикальним параметром ясен, визначеним шляхом суміщення даних КПКТ та ІОС, та клінічною визначеною глибиною пародонтологічного зондування, фактично повинна відповідати параметру біологічної ширини, проте показники отримані в експериментальних дослідженнях не підтвердили відповідності такої, попередньо визначеної гістологічно Gargiulo A. та співавторами [12, 17, 18].

Окремі відмінності показників глибини пародонтологічного зондування, визначеної за цифровим та клінічним підходом, відмічені у даному дослідженні та попередніх наукових роботах також можуть бути обґрунтовані технічними характеристиками та діагностичними параметрами використаного апарату забезпечення (інтраорального сканера та КПКТ), а також реалізованим підходом до суміщення наборів даних різної модальності [19, 20]. Процес цифрового пародонтологічного зондування в значній мірі залежить від коректності реалізації процесу взаємосуміщення даних конусно-променевої компютерної томографії та інтраорального сканування, а також специфічно від алгоритму обробки даних конусно-променевої компютерної томографії для можливості реалізації суперімпозиції діагностичних результатів як графічних об'єктів [19, 20]. Крім того, коректність визначення глибини цифрового пародонтологічного зондування залежить від вираженості ширини корональної частини кісткового гребня на сформованій графічній крос-секції, і якщо така була меншою за величину мінімального розміру вокселя, передбаченого в структурі КПКТ-знімку, то можливість верифікації кісткового краю визначалася лише на тому рівні, де ширина такого перевищує розмір вокселя [21]. Попередньо Icen M. та колеги повідомляли, що розмір вокселя напряму впливає на рівень діагностичної точності у верифікації дефектів за результатами КПКТ: менший розмір вокселя та менше поле зйомки КПКТ сприяло досягненню вищих рівнів чутливості та діагностичної точності апробованого методу [22].

В даному дослідженні відбір пацієнтів проводився за фактом наявності у таких уже даних КПКТ на момент проведення дослідження з метою мінімізації ризику надмірного радіологічного навантаження, відтак це провокувало неуніфікованість параметрів КПКТ дослідження у різних пацієнтів, що також могло потенційно впливати на отримані результати. Водночас із аналізу були виключені досліджувані зуби, у проекції яких спостерігалися виражені рентгенологічні артефакти або які потребували значного графічного доопрацювання для оптимізації зображення з метою подальшого суміщення з інтраоральними сканами, що частково сприяло мінімізації впливу аномальних значень у вибірці.

Попередні наукові роботи продемонстрували, що технологія інтраорального сканування є достатньо чутливою та діагностично-точною в порівнянні із клінічними референтними методиками, а також такою, що забезпечує репродуктивність отриманих результатів у розрізі виконання замірів, котрі проводяться безпосередньо на поверхні скану [9, 10, 11]. Так, у роботі

West N. та колег було продемонстровано, що прецизійність вимірювань розмірних характеристик рецесій на внутрішньоротовому скані перевищує 90%, хоча чутливість методу є відмінною при оцінці рецесій в проекції вестибулярних та проксимальних сторін [10]. Kuralt M. та колеги продемонстрували можливість використання параметру кривизни форми ясен, як похідного інтраорального скану, який може бути застосований для реєстрації первинних навіть мінімально виражених змін ясен потенційно пов'язаних з пародонтитом [23].

В той же час різні апарати інтраорального сканування демонструють варіативну ефективність щодо точності локалізації субгінгівальних ділянок інтересу [24]. Попередньо інтраоральні системи сканування засвідчили клінічно-прийнятну точність у відтворенні ділянок, що знаходяться на 2 мм нижче маргінального краю ясен [25]. Також продовжують впроваджуватися техніки, які зокрема стосуються оптимізації практичних підходів до реєстрації субгінгівальних ділянок з та без інтраорального сканування (зокрема техніка реверсивного субгінгівального сканування, описана Zingari F. та колегами [26], а також застосування фотоакустичної томографії [14], а також модифікації самої технології інтраорального сканування (за рахунок комбінованого використання оптичної когерентної томографії) [27], які сприяють покращенню глибини сканування та точності відтворення субгінгівальних ділянок інтересу. Однак, комбіноване використання методів ІОС та КПКТ уже сприяє зростанню рівня діагностичної точності в порівнянні із ізольованим використанням цих методів для оцінки глибини пародонтального зондування, приймаючи до уваги результати даного дослідження, та порівнюючи їх із даними Pistorius A. та колег, які повідомили про розбіжності в більш, ніж 2 мм майже у 50% досліджуваних випадків [28].

Водночас глибина цифрового пародонтального зондування є не єдиним діагностичним параметром, котрий може бути квантифікований з використанням технології інтраорального сканування у розрізі діагностики, моніторингу та контролю змін у пацієнтів з пародонтитом. Зокрема, Zhang J. та колеги описали підхід до об'єктивізації змін об'єму ясен після проведеного пародонтологічного лікування на основі суміщення інтраоральних сканів, які корелювали зі змінами глибини клінічного пародонтологічного зондування, індексу кровоточивості та ширини кератинізованих ясен [29]. Ефективність аналогічного підходу також була повідомлена у серії клінічних випадків, репрезентованих Pelekos G. та колегами, серед вибірки пацієнтів з III стадією важкості пародонтиту [30]. Kuralt M. та колеги (2022) запропонували використовувати технологію інтраорального сканування для оцінки змін товщини ясен після пародонтологічного лікування як підхід, котрий дозволяє квантифікувати параметри, що виходять за межі клінічно-стандартних критеріїв оцінки, однак демонструють залежності із клінічно-значущими естетичними варіаціями в проекції фронтальних зубів [31].

Відтак виходячи з отриманих результатів можна резюмувати, що у пацієнтів з пародонтитом підхід із реалізацію цифрового пародонтологічного зонду-

вання потенційно може забезпечувати достатню клінічну точність для оцінки глибини пародонтальних кишень шляхом суміщення результатів конусно-променевої комп'ютерної томографії та інтраорального сканування; при цьому діагностична точність даного підходу є вищою в проекції зубів з клінічно підтвердженими ознаками пародонтиту, аніж в проекції зубів без клінічно-підтверджених ознак пародонтиту. Враховуючи практичну складність реалізації процедури коректного суміщення даних КПКТ та ІОС, а також потенційний вплив різного роду графічно-асоційованих артефактів, котрі можуть безпосередньо впливати на результат суперімпозиції двох вищезазначених наборів даних, клінічна застосованість цифрового пародонтологічного зондування залишається обмеженою, водночас даний підхід забезпечує отримання більш репродуктивних та прецизійних результатів, аніж клінічна оцінка з використанням зонда, про проблематику відтворюваності результатів котрої попередньо повідомлялось в літературі [13, 14].

**Висновки.** Отримані результати дослідження підтверджують можливість реалізації підходу цифрового

пародонтологічного зондування на основі суміщення даних інтраорального сканування та конусно-променевої комп'ютерної томографії. Встановлено наявність статистично значущої позитивної кореляційної зв'язку між показниками глибини, визначеними цифровим методом, та результатами клінічного зондування, що свідчить про потенційну діагностичну цінність запропонованого підходу.

Водночас виявлено, що точність цифрового зондування є вищою у ділянках із наявними ознаками пародонтиту, ніж в проекції зубів з клінічно здоровим станом тканин пародонту, що узгоджується з даними попередніх досліджень. При цьому на результати цифрового зондування суттєво впливають технічні фактори, зокрема якість інтраорального сканування, параметри КПКТ (у тому числі розмір вокселя), а також точність алгоритмів суміщення даних різної модальності, які в подальших дослідженнях повинні бути стандартизовані. Наявність графічних артефактів та складність коректної суперімпозиції обмежують практичне впровадження методу в повсякденну клінічну практику.

## REFERENCES

1. Farina R, Simonelli A, Trombelli L, Ettmayer JB, Schmid JL, Ramseier CA. Emerging applications of digital technologies for periodontal screening, diagnosis and prognosis in the dental setting. *Journal of Clinical Periodontology*. 2025 Aug;52:211-45. <https://doi.org/10.1111/jcpe.14156>
2. Frackiewicz W, Jankowska A, Machoy ME. CBCT and modern intraoral scanners as tools for developing comprehensive, interdisciplinary treatment plans. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. 2024;33(11):1267-76. <https://doi.org/10.17219/acem/175817>
3. Laugisch O, Ausschill TM, Heumann C, Sculean A, Arweiler NB. Clinical evaluation of a new electronic periodontal probe: a randomized controlled clinical trial. *Diagnostics*. 2021 Dec 25;12(1):42. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010042>
4. Herrera D, Tonetti MS, Chapple I, Kekschull M, Papananou PN, Sculean A, Abusleme L, Aimetti M, Belibasakis G, Blanco J, Bostanci N. Consensus report of the 20th European workshop on periodontology: contemporary and emerging technologies in periodontal diagnosis. *Journal of Clinical Periodontology*. 2025 Aug;52:4-33. <https://doi.org/10.1111/jcpe.14152>
5. Jung K, Ganss C, Korbmacher-Steiner H, Jablonski-Momeni A. Planimetric quantification of plaque in patients with multibracket appliances using an intraoral scanner—proof-of-concept. *Clinical Oral Investigations*. 2026 Apr;30(4):130. <https://doi.org/10.1007/s00784-026-06809-8>
6. Caron T, Decup F, Grosogeat B, Chacun D. The relevance of intraoral scanner (IOS) for periodontal diagnosis: A scoping review. *Journal of Dentistry*. 2025 Sep 1;160:105824. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105824>
7. Al-Hassiny A, Végh D, Bányai D, Végh Á, Géczi Z, Borbély J, Hermann P, Hegedüs T. User experience of intraoral scanners in dentistry: Transnational questionnaire study. *international dental journal*. 2023 Oct 1;73(5):754-9. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2023.04.002>
8. Hassan MA, Silva do Amaral GC, Saraiva L, Holzhausen M, Mendes FM, Pannuti CM, Stewart B, Malheiros ZM, Benítez C, Nakao LY, Villar CC. Colorimetric analysis of intraoral scans: A novel approach for detecting gingival inflammation. *Journal of Periodontology*. 2025 Aug;96(8):848-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/JPER.24-0389>
9. Nalbantoğlu AM, Yanık D. Revisiting the measurement of keratinized gingiva: a cross-sectional study comparing an intraoral scanner with clinical parameters. *Journal of periodontal & implant science*. 2023 Jun 27;53(5):362. <https://doi.org/10.5051/jpis.2204320216>
10. West NE, Wright M, Daly S, Newcombe RG, Davies M, Kuralt M, West NX. Diagnostic accuracy of on-scan assessments compared to clinical assessments using a periodontal probe for detecting gingival recession: A cross-sectional study. *Journal of Dentistry*. 2026 Jan 10:106504. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2026.106504>
11. Lee JS, Jeon YS, Strauss FJ, Jung HI, Gruber R. Digital scanning is more accurate than using a periodontal probe to measure the keratinized tissue width. *Scientific Reports*. 2020 Feb 28;10(1):3665. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60291-0>
12. Chung HM, Park JY, Ko KA, Kim CS, Choi SH, Lee JS. Periodontal probing on digital images compared to clinical measurements in periodontitis patients. *Scientific reports*. 2022 Jan 31;12(1):1616. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04695-6>
13. Grossi SG, Dunford RG, Ho A, Koch G, Machtei EE, Genco RJ. Sources of error for periodontal probing measurements. *Journal of periodontal research*. 1996 Jul;31(5):330-6. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1996.tb00500.x>
13. Elashiry M, Meghil MM, Arce RM, Cutler CW. From manual periodontal probing to digital 3-D imaging to endoscopic capillaroscopy: Recent advances in periodontal disease diagnosis. *Journal of periodontal research*. 2019 Feb;54(1):1-9. <https://doi.org/10.1111/jre.12585>
15. Wright M. Periodontal probes, their mechanisms and a look into the future of periodontal assessment: Periodontal probes, their mechanisms and a look into the future of periodontal assessment. *BDJ Team*. 2026 Mar 20;13(3):86-9. <https://doi.org/10.1038/s41407-026-3220-2>

- 
16. Yang Q, Su M, Li Y, Wang R. Revisiting the relationship between correlation coefficient, confidence level, and sample size. *Journal of chemical information and modeling*. 2019 Oct 11;59(11):4602-12. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.9b00214>
  17. Schmidt JC, Sahrman P, Weiger R, Schmidlin PR, Walter C. Biologic width dimensions—a systematic review. *Journal of clinical periodontology*. 2013 May;40(5):493-504. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12078>
  18. Gargiulo A, Krajewski J, Gargiulo M. Defining biologic width in crown lengthening. *CDS review*. 1995 Jun 1;88(5):20-3. PMID: 9528450
  19. Motel C, Kirschner C, Förtsch F, Buchbender M, Wichmann M, Matta RE. The influence of the superimposition procedure and type of intraoral impression on the superimposition accuracy of CBCT scans with dental impressions in implant planning: an in-vitro study. *International Journal of Implant Dentistry*. 2025 Mar 28;11(1):26. <https://doi.org/10.1186/s40729-025-00612-y>
  20. Ghoneima A, Cho H, Farouk K, Kula K. Accuracy and reliability of landmark-based, surface-based and voxel-based 3D cone-beam computed tomography superimposition methods. *Orthodontics & craniofacial research*. 2017 Nov;20(4):227-36. <https://doi.org/10.1111/ocr.12205>
  21. Sun Z, Smith T, Kortam S, Kim DG, Tee BC, Fields H. Effect of bone thickness on alveolar bone-height measurements from cone-beam computed tomography images. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011 Feb 1;139(2):e117-27. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.08.016>
  22. Icen M, Orhan K, Şeker Ç, Geduk G, Cakmak Özlü F, Cengiz Mİ. Comparison of CBCT with different voxel sizes and intraoral scanner for detection of periodontal defects: an in vitro study. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2020 Jul 1;49(5):20190197. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190197>
  23. Kuralt M, Gašperšič R, Fidler A. The precision of gingival recession measurements is increased by an automated curvature analysis method. *BMC Oral Health*. 2021 Oct 7;21(1):505. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01858-9>
  24. Mourouzis P, Dionysopoulos D, Gogos C, Tolidis K. Beyond the surface: A comparative study of intraoral scanners in subgingival configuration scanning. *Dental Materials*. 2024 Aug 1;40(8):1184-90. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2024.06.004>
  25. Ruggiero G, Sorrentino R, Zarone F. Three-dimensional analysis and accuracy of an intraoral scanner on vertical and horizontal subgingival margins. *Journal of Dentistry*. 2024 Aug 1;147:105208. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105208>
  26. Zingari F, Meglioli M, Gallo F, Toffoli A, Macaluso GM. Subgingival zone detection via reverse subgingival scan. *Prosthesis*. 2022 May 14;4(2):234-43. <https://doi.org/10.3390/prosthesis4020023>
  27. Son K, Lee W, Kim KH, Jeong H, Jeon M, Kim J, Lee KB. Integration of optical coherence tomography and intraoral scanning for enhanced subgingival finish line trueness: A comparative analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2025 Jun 20. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.05.040>
  28. Pistorius A, Patrosio C, Willershausen B, Mildenerberger P, Rippin G. Periodontal probing in comparison to diagnosis by CT-scan. *International dental journal*. 2001 Oct 1;51(5):339-47. <https://doi.org/10.1002/j.1875-595X.2001.tb00847.x>
  29. Zhang J, Huang Z, Cai Y, Luan Q. Digital assessment of gingiva morphological changes and related factors after initial periodontal therapy. *Journal of Oral Science*. 2021;63(1):59-64. <https://doi.org/10.2334/josnusd.20-0157>
  30. Pelekos G, Fok M, Kwok A, Lam M, Tsang E, Tonetti MS. A pilot study on the association between soft tissue volumetric changes and non-surgical periodontal treatment in stage III periodontitis patients. A case series study. *Journal of Dentistry*. 2023 Jul 1;134:104536. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104536>
  31. Kuralt M, Cmok Kučić A, Gašperšič R, Grošelj J, Knez M, Fidler A. Gingival shape analysis using surface curvature estimation of the intraoral scans. *BMC oral health*. 2022 Jul 12;22(1):283. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02322-y>

Дата першого надходження статті до видання: 15.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 11.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026