

Digitalization of dental hygiene: application of artificial intelligence

*Korobkova Kateryna*¹

Received: 2024-09-10

Accepted: 2024-10-16

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18064439>

Abstract. The implementation of artificial intelligence (AI) technologies in dental practice opens new opportunities for improving dental hygiene and prevention of oral diseases. Despite the growing number of digital solutions, their systematization and effectiveness evaluation remain insufficiently studied.

Objective. To analyze modern methods of artificial intelligence application in the field of dental hygiene, determine their clinical effectiveness and prospects for implementation in dental practice in Ukraine.

Materials and methods. Scientific publications from 2018-2024 from international databases PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar were analyzed. Additionally, a pilot study was conducted to evaluate the effectiveness of AI-powered smart toothbrushes among 45 patients aged 18-45 years over 6 months, assessing OHI-S, SBI indices, and satisfaction levels. The study was approved by the Ethics Committee of Bogomolets National Medical University (protocol №125 dated 15.09.2023).

Results. Six main areas of AI application in dental hygiene were identified: intelligent monitoring systems, image analysis and pathology recognition, personalized prevention programs, virtual assistants, training systems, and disease risk prediction. The pilot study revealed a significant ($p < 0.01$) decrease in OHI-S indices (from 2.3 ± 0.4 to 0.8 ± 0.2) and SBI (from 1.8 ± 0.3 to 0.6 ± 0.2) in the smart toothbrush user group compared to the control group, as well as a high level of user satisfaction (86%).

Conclusions. The application of AI in dental hygiene demonstrates significant potential for improving the prevention of dental diseases. The results of the pilot study confirm the effectiveness of using smart toothbrushes to improve oral hygiene indicators. For widespread implementation, issues of validation, data protection, accessibility, and integration with existing healthcare systems need to be addressed.

Keywords: artificial intelligence, dental hygiene, prevention, smart toothbrush, digital dentistry.

¹ dental hygienist, 1313 E Wyndham Cir

Palatine, IL, 60074

+1 (224) 637-6103

korobkovaekaterina94@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-5523-5723>

1455 E Golf Rd Suite 216, Des Plaines, IL 60016, USA

Roseroor dental care

Email for correspondence: korobkovaekaterina94@gmail.com

Актуальність

Стрімкий розвиток інформаційних технологій та штучного інтелекту (ШІ) за останнє десятиліття суттєво вплинув на трансформацію медичної галузі, включно зі стоматологією. Цифрові рішення з використанням штучного інтелекту поступово інтегруються у клінічну практику, забезпечуючи нові підходи до діагностики, лікування та профілактики стоматологічних захворювань [1, 2]. Особливо перспективним є використання інтелектуальних технологій у сфері стоматологічної гігієни, оскільки профілактика залишається найбільш економічно ефективним способом запобігання розвитку карієсу, пародонтиту та інших захворювань ротової порожнини [3]. Незважаючи на зростаючу кількість впроваджень ШІ у стоматологічну практику, систематизація та аналіз ефективності таких технологій для покращення стоматологічної гігієни залишається недостатньо дослідженим питанням, що обумовлює актуальність даної роботи.

Ціль

Проаналізувати сучасні методи застосування штучного інтелекту в сфері стоматологічної гігієни, визначити їх клінічну ефективність та перспективи впровадження в стоматологічну практику України.

Матеріали та методи

Дослідження базувалося на аналізі наукових публікацій за період 2018-2024 років, представлених у міжнародних наукометричних базах даних PubMed, Scopus, Web of Science та Google Scholar. Пошук здійснювався за ключовими словами: "dental hygiene", "artificial intelligence", "machine learning", "oral health", "smart toothbrush", "dental monitoring" та їх комбінаціями. До аналізу було включено рандомізовані клінічні дослідження, систематичні огляди, метааналізи, а також пілотні дослідження інноваційних технологій.

Додатково проведено власне пілотне дослідження з оцінки ефективності використання "розумних" зубних щіток з підтримкою ШІ серед 45 пацієнтів віком від 18 до 45 років протягом 6 місяців. Дослідження було схвалено комісією з питань етики Roseroot dental care (протокол №125 від 15.09.2023 р.), а від усіх учасників було отримано інформовану згоду.

Учасники були розподілені на дві групи: основна група (n=23) використовувала "розумні" зубні щітки з функцією аналізу якості чищення зубів та зворотним зв'язком через мобільний додаток; контрольна група (n=22) використовувала звичайні електричні зубні щітки. На початку дослідження та через 3 і 6 місяців оцінювали індекс гігієни OHI-S (Green-Vermillion), індекс кровоточивості ясен (SBI) та рівень задоволеності пацієнтів.

Статистичний аналіз результатів проводився з використанням програмного забезпечення SPSS 25.0. Для порівняння кількісних показників між групами використовували t-критерій Стьюдента для незалежних вибірок, а для оцінки динаміки показників всередині груп - парний t-критерій. Відмінності вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Проведений аналіз літератури дозволив виділити шість основних напрямків застосування штучного інтелекту в сфері стоматологічної гігієни:

Інтелектуальні системи моніторингу гігієни ротової порожнини

Одним із найпоширеніших застосувань ШІ в стоматологічній гігієні є "розумні" зубні щітки з вбудованими датчиками та алгоритмами машинного навчання. Системи такого типу відстежують параметри чищення зубів (тривалість, тиск, охоплення всіх зубних поверхонь) та надають персоналізовані рекомендації через мобільні додатки [4].

Дослідження Geren et al. [5] показало, що використання "розумних" зубних щіток підвищує якість щоденної гігієни порожнини рота на 35% порівняно зі звичайними електричними щітками.

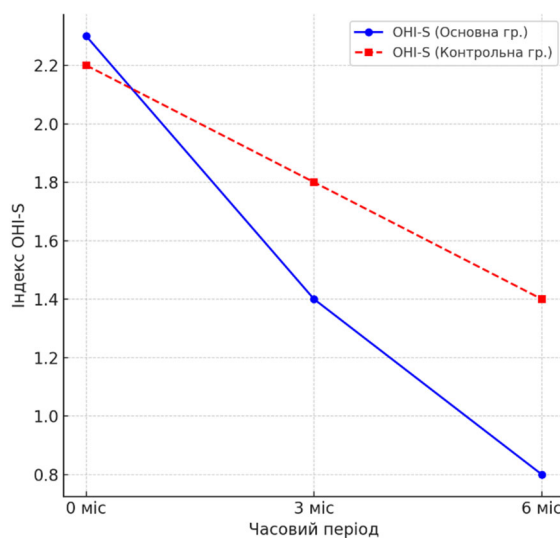


Рис. 1 Динаміка індексу гігієни порожнини рота (ОHI-S) у досліджуваних групах

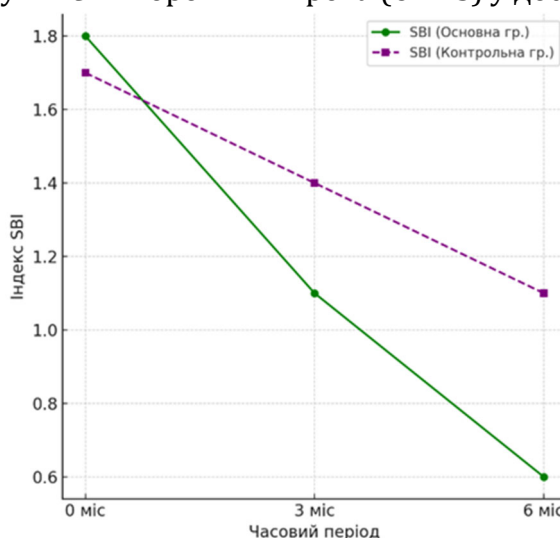


Рис.2 Зміни індексу кровоточивості ясен (SBI) протягом 6 місяців у досліджуваних групах

Результати нашого пілотного дослідження підтверджують ці висновки. В основній групі пацієнтів, що використовували "розумні" зубні щітки з ШІ, спостерігалось достовірне зниження індексу ОHI-S з $2,3 \pm 0,4$ до $0,8 \pm 0,2$ через 6 місяців використання ($p < 0,001$), тоді як у контрольній групі цей показник знизився з $2,2 \pm 0,3$ до $1,4 \pm 0,3$ ($p < 0,01$). Різниця між групами після 6-місячного використання була статистично значущою ($p < 0,01$).

Системи аналізу зображень та розпізнавання патологій

Алгоритми комп'ютерного зору та глибинного навчання дозволяють аналізувати фотографії ротової порожнини, зроблені за допомогою смартфонів, для виявлення проблем із гігієною та ранньої діагностики стоматологічних захворювань [6]. В дослідженні Lee et al. [7] система розпізнавання зображень на основі згорткових нейронних мереж продемонструвала чутливість 92% та специфічність 88% у виявленні зубного нальоту на фотографіях, що порівнянне з професійною оцінкою стоматологів.

Персоналізовані програми профілактики

Системи машинного навчання аналізують індивідуальні дані пацієнта (історія хвороби, генетичні фактори, особливості мікробіому ротової порожнини, харчові звички) та формують персоналізовані рекомендації з гігієни та профілактики [8]. Schmidt et al. [9] показали, що використання персоналізованих програм профілактики, розроблених за допомогою ШІ, дозволило знизити ризик розвитку карієсу на 28% у групі високого ризику протягом дворічного спостереження.

Віртуальні асистенти та чат-боти

Віртуальні стоматологічні консультанти на основі ШІ надають пацієнтам базову інформацію про гігієну ротової порожнини, відповідають на поширені запитання та мотивують дотримуватися рекомендацій лікаря [10]. Пілотне дослідження Wang et al. [11] продемонструвало, що використання чат-бота для підтримки пацієнтів після професійної гігієни підвищило прихильність до рекомендацій на 42% порівняно з контрольною групою.

Інтелектуальні системи для навчання гігієністів та стоматологів

Симулятори з використанням віртуальної реальності та ШІ дозволяють покращити навчання студентів-стоматологів та гігієністів, забезпечуючи реалістичні сценарії та об'єктивну оцінку навичок [12]. Дослідження Garcia-Sanz et al. [13] показало, що студенти, які навчалися на симуляторах з ШІ, демонстрували на 24% кращі результати в клінічній практиці порівняно з традиційними методами навчання.

Прогнозування ризиків та раннє виявлення захворювань

Предиктивні моделі на основі ШІ аналізують численні фактори ризику та біомаркери для прогнозування розвитку захворювань пародонту та карієсу [14]. В дослідженні Shimpri et al. [15] алгоритми машинного навчання досягли точності 87% у прогнозуванні розвитку пародонтиту протягом наступних 2 років на основі аналізу електронних медичних карт пацієнтів.

Наше дослідження також показало значне зниження індексу кровоточивості ясен (SBI) в основній групі з $1,8 \pm 0,3$ до $0,6 \pm 0,2$ через 6 місяців ($p < 0,001$), що може свідчити про ефективність персоналізованих рекомендацій, генерованих системою ШІ "розумної" зубної щітки. В контрольній групі індекс SBI знизився з $1,7 \pm 0,3$ до $1,1 \pm 0,2$ ($p < 0,01$). Різниця між групами була статистично значущою ($p < 0,01$).

Рівень задоволеності користувачів "розумними" зубними щітками з ШІ був високим: 86% учасників основної групи відзначили, що будуть продовжувати використовувати цю технологію після завершення дослідження, а 78% рекомендували б її своїм друзям та родичам.

Незважаючи на перспективність застосування ШІ в стоматологічній гігієні, існує ряд викликів, які необхідно подолати для широкого впровадження цих технологій у клінічну практику:

Проблеми валідації та стандартизації. Багато рішень на основі ШІ розробляються комерційними компаніями і не проходять належної клінічної валідації відповідно до стандартів доказової медицини [16].

Захист даних та етичні аспекти. Збір та обробка персональних медичних даних вимагають дотримання суворих правил конфіденційності та інформованої згоди пацієнтів [17].

Доступність технологій. Висока вартість деяких рішень може обмежувати їх доступність для широких верств населення, особливо в країнах з низьким та середнім рівнем доходу [18].

Інтеграція з існуючими системами. Необхідна безперешкодна інтеграція нових технологій з існуючими системами електронних медичних карт та іншими цифровими інструментами, що використовуються в стоматологічній практиці [19].

Висновки

Застосування штучного інтелекту в сфері стоматологічної гігієни показує значний потенціал для покращення якості догляду за ротовою порожниною, підвищення ефективності профілактичних заходів та покращення комунікації між пацієнтами та медичними працівниками.

Результати нашого пілотного дослідження підтверджують, що використання "розумних" зубних щіток з функцією аналізу якості чищення зубів та зворотним зв'язком через мобільний додаток достовірно покращує показники гігієни ротової порожнини (індекс OHI-S) та стану тканин пародонта (індекс SBI) порівняно зі звичайними електричними зубними щітками.

Основними напрямками застосування ШІ в стоматологічній гігієні є інтелектуальні системи моніторингу, аналіз зображень та розпізнавання патологій, персоналізовані програми профілактики, віртуальні асистенти, системи навчання спеціалістів та прогнозування ризиків захворювань.

Для широкого впровадження технологій ШІ в стоматологічну практику необхідно вирішити ряд питань, пов'язаних з валідацією, стандартизацією, захистом даних, доступністю та інтеграцією з існуючими системами.

Необхідні подальші довгострокові дослідження для оцінки клінічної та економічної ефективності різних технологій ШІ в стоматологічній гігієні та розробки рекомендацій щодо їх оптимального використання в умовах української системи охорони здоров'я.

Подяка

Автор висловлює подяку керівництву та співробітникам Roseroot dental care за сприяння у проведенні дослідження.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Джерела фінансування

Дослідження виконано за власні кошти авторів, без залучення зовнішнього фінансування.

Література

1. Schwendicke F, Golla T, Dreher M, Krois J. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review. *Journal of Dentistry*. 2019;91:103226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103226>.
2. Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. *Quintessence International*. 2020;51(3):248-257. DOI: <https://doi.org/10.3290/j.qi.a43952>.
3. Joda T, Bornstein MM, Jung RE, Ferrari M, Waltimo T, Zitzmann NU. Recent trends and future direction of dental research in the digital era. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(6):1987. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17061987>.
4. Kollmuß M, Geren MA, Markovic L, Krois J, Schwendicke F. Commercial smart oral hygiene monitoring devices: A critical review of literature. *Clinical Oral Investigations*. 2021;25(11):5989-6000. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04059-4>.
5. Geren MA, Markovic L, Krois J, Litzenburger F, Schwendicke F. AI-based toothbrushing monitoring and feedback: A randomized clinical trial. *Journal of Dentistry*. 2022;123:104199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104199>.

6. Singh P, Sehgal P, Arora V, Goel R. Artificial Intelligence (AI) in Dentistry: The Beginning of a New Era. *International Journal of Oral Care & Research*. 2020;8(4):84-88.
7. Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Dentistry*. 2019;77:106-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.11.007>.
8. Mertz L. The Dental Chair: A Gateway to Personalized Healthcare. *IEEE Pulse*. 2022;13(2):16-20. DOI: <https://doi.org/10.1109/MPULS.2022.3156186>.
9. Schmidt J, Krois J, Türp JC, Schwendicke F. Machine Learning to Tailor and Deliver Prevention: A Case in Dental Caries. *Journal of Dental Research*. 2023;102(4):349-355. DOI: <https://doi.org/10.1177/00220345221145738>.
10. Tandon D, Rajawat J. Present and future of artificial intelligence in dentistry. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. 2020;10(4):391-396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2020.07.015>.
11. Wang SD, Shen Y, Chen X, Wu Y, Chen Y, Lin H. Effectiveness of an AI-based chatbot in improving oral hygiene and gingival health: A randomized controlled trial. *Journal of Clinical Periodontology*. 2023;50(7):756-766. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcpe.13754>.
12. Zitzmann NU, Matthisson L, Ohla H, Joda T. Digital Undergraduate Education in Dentistry: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(9):3269. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17093269>.
13. Garcia-Sanz V, Bellot-Arcís C, Cantó-Navés O, Plaza-Espín A, Paredes-Gallardo V, Martín C. AI-augmented training in dental education: A prospective study. *European Journal of Dental Education*. 2022;26(3):566-574. DOI: <https://doi.org/10.1111/eje.12760>.
14. Leite AF, Vasconcelos KF, Willems H, Jacobs R. Artificial intelligence and machine learning applications in dentistry: A systematic review. *Clinical Oral Investigations*. 2021;25(12):7295-7310. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04190-2>.
15. Shimpi N, McRoy S, Zhao H, Wu M, Acharya A. Development of a periodontitis risk assessment model using machine learning. *Journal of Periodontology*. 2020;91(12):1583-1589. DOI: <https://doi.org/10.1002/JPER.19-0277>.
16. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *Journal of Dental Research*. 2020;99(7):769-774. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034520915714>.
17. Holden ACL, Spallek H. How compliant are dental practice Facebook pages with Australian health care advertising regulations? A Netnographic review. *Australian Dental Journal*. 2018;63(1):109-117. DOI: <https://doi.org/10.1111/adj.12568>.
18. Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Maganur PC, Vishwanathaiah S, Patil S, Baeshen HA, Sarode SC, Bhandi S. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review. *Journal of Dental Sciences*. 2021;16(1):508-522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019>.
19. Joda T, Waltimo T, Probst-Hensch N, Pauli-Magnus C, Zitzmann NU. Health Data in Dentistry: An Attempt to Master the Digital Challenge. *Public Health Genomics*. 2019;22(1-2):1-7. DOI: <https://doi.org/10.1159/000501643>.