

УДК 616.314-089.23:004.8

DOI <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2025.1.25>**Ю. Є. Локота,**доктор філософії, доцент кафедри ортопедичної
стоматології,Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,
індекс 88000, urij.lokota@uzhnu.edu.ua**Є. Ю. Локота,**кандидат медичних наук, доцент кафедри ортопедичної
стоматології,Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,
індекс 88000, ievgenii.lokota@uzhnu.edu.ua**М. Е. Ізай,**

старший викладач кафедри дитячої стоматології,

Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,
індекс 88000, izay.m@ukr.net**Д. В. Балецький,**

студент стоматологічного факультету,

Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»,
вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,
індекс 88000, baletskiy8643@gmail.com

МОЖЛИВОСТІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОРТОДОНТІЇ, ПОТОЧНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВА. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Вступ. Останні десятиліття ми стаємо свідками величезних змін у нашій професії. Поява нових, сучасніших технологій в ортодонтичному лікуванні, перехід на повністю цифровий протокол роботи, нові методи візуалізації – все це створюється та інтегрується для того, щоб клініцисти мали можливість оптимізувати робочий процес і вдосконалити свої методи надання ортодонтичної допомоги пацієнтам. З метою підвищення рівня точності та ефективності в діагностиці, використання штучного інтелекту значно зросло за останні роки. Ці знання є основою в прогнозуванні лікування. Однак впровадження цих технологій, заснованих на штучному інтелекті, не змінює того факту, що медичні працівники, володіючи власними знаннями, отриманими завдяки спеціалізованій освіті та багаторічним досвідом, є тими, хто в підсумку має поставити діагноз і обрати найкращий план лікування.

Методологія та методи дослідження. Мета дослідження – проаналізувати доступні джерела науково-медичної інформації, присвячені питанням застосування штучного інтелекту в ортодон-

тії. Включені дослідження доводять, що штучний інтелект є надійним інструментом, який робить ортодонтичне лікування швидшим, економічнішим, зручнішим, більш прогнозованим. У стоматології штучний інтелект став популярний протягом останніх кількох десятиліть, зокрема в ортодонтії його використовують для діагностики, визначення потреби лікування, цефалометрії, планування лікування, прогнозування лікування, ортогнатичних маніпуляцій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Останні технологічні інновації в ортодонтії, включаючи КПКТ і 3D-візуалізацію, внутрішньоротові сканери, сканери обличчя, можливості програмного забезпечення для миттєвого моделювання зубів і нові розробки пристроїв із використанням робототехніки та 3D-друку, змінюють вигляд медичної допомоги та швидко інтегруються в стоматологію. Ці інструменти дозволяють краще зрозуміти анатомію пацієнта та можуть створювати динамічні, анатомічні реконструкції для конкретного пацієнта, а отже, передбачають можливість 3D-планування лікування.

Висновки. Незважаючи на великий потенціал ШІ в ортодонтії потрібно зробити діагностичний процес більш точним та ефективним, робота зі ШІ ще не стала основним інструментом у повсякденній ортодонтичній практиці. Попри те, що ШІ може підвищити точність діагностики, він не може повністю замінити людський інтелект, але здатний суттєво покращити результати лікування, підвищити економічність та ефективність.

Ключові слова: штучний інтелект, ортодонтія, цефалометрія, машинне навчання, огляд, планування лікування, діагностика.

Yu. Ye. Lokota,PhD, Associate Professor of the Department of Orthopedic
Dentistry,State University “Uzhhorod National University”,
16a Universytetska street, Uzhhorod, Ukraine, postal code
88000, urij.lokota@uzhnu.edu.ua**Ye. Yu. Lokota,**Candidate of Medical Sciences, Associate Professor
of the Department of Orthopedic Dentistry,
State University “Uzhhorod National University”,
16a Universytetska street, Uzhhorod, Ukraine,
postal code 88000, ievgenii.lokota@uzhnu.edu.ua**M. E. Izay,**Senior Lecturer, Department of Pediatric Dentistry
State University “Uzhhorod National University”,
16a Universytetska street, Uzhhorod, Ukraine,
postal code 88000, izay.m@ukr.net**D. V. Baletskiy,**student of the Faculty of Dentistry,
State University “Uzhhorod National University”,
16a Universytetska street, Uzhhorod, Ukraine,
postal code 88000, baletskiy8643@gmail.com

POSSIBILITIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ORTHODONTICS, CURRENT STATUS AND PROSPECTS. LITERATURE REVIEW

Introduction. *In recent decades, we have witnessed enormous changes in our profession. The emergence of new, more modern technologies in orthodontic treatment, the transition to a fully digital work protocol, new visualization methods – all this is being created and integrated so that clinicians have the opportunity to optimize the workflow and improve their methods of providing orthodontic care to patients. The use of artificial intelligence has grown significantly in recent years to improve the accuracy and efficiency of diagnostics, and this knowledge is the basis for predicting treatment. However, the introduction of these technologies based on artificial intelligence does not change the fact that healthcare professionals, with their own knowledge gained through specialized education and years of experience, are the ones who ultimately have to make the diagnosis and choose the best treatment plan.*

Methodology and research methods. *The purpose of the study is to analyze available sources of scientific and medical information devoted to the application of artificial intelligence in orthodontics. The included studies prove that artificial intelligence is a reliable tool that makes orthodontic treatment faster, more economical, more convenient, and more predictable. In dentistry, artificial intelligence has become popular over the past few decades, particularly in orthodontics, where it is needed for diagnosis, determining the need for treatment, cephalometry, treatment planning, treatment prediction, and orthognathic manipulations.*

Summary of the main research material. *The latest technological innovations in orthodontics, including KPCT and 3D imaging, intraoral scanners, facial scanners, software capabilities for instant dental modeling, and new device developments using robotics and 3D printing, are changing the face of medical care and are rapidly integrating into dentistry. These tools allow for a better understanding of the patient's anatomy and can create dynamic, patient-specific anatomical reconstructions, thus enabling 3D treatment planning.*

Conclusions: *Despite the great potential of AI in orthodontics to make the diagnostic process more accurate and efficient, working with AI has not yet become a mainstream tool in everyday orthodontic practice. Although AI can increase diagnostic accuracy, it cannot completely replace human intelligence, but it can significantly improve treatment outcomes, increase cost-effectiveness and efficiency.*

Key words: *artificial intelligence, orthodontics, cephalometry, machine learning, examination, treatment planning, diagnostics.*

Вступ. Останні десятиліття ми стаємо свідками величезних змін у нашій професії. Поява нових, сучасніших технологій в ортодонтичному лікуванні, перехід на повністю цифровий протокол роботи, нові методи візуалізації – все це створюється та інтегрується для того, щоб

клініцисти мали можливість оптимізувати робочий процес і вдосконалити свої методики надання ортодонтичної допомоги пацієнтам. З метою підвищення рівня точності та ефективності в діагностиці, використання штучного інтелекту значно зросло за останні роки. Ці знання є основою в прогнозуванні лікування. Однак впровадження цих технологій, заснованих на штучному інтелекті, не змінює того факту, що медичні працівники, володіючи власними знаннями, отриманими завдяки спеціалізованій освіті та багаторічним досвідом, є тими, хто в підсумку має поставити діагноз і обрати найкращий план лікування.

Методологія та методи дослідження

Мета дослідження – проаналізувати доступні джерела науково-медичної інформації, присвячені питанням застосування штучного інтелекту в ортодонтії.

Матеріали та методи дослідження: включені дослідження доводять, що штучний інтелект є надійним інструментом, який робить ортодонтичне лікування швидшим, економічнішим, зручнішим, більш прогнозованим. У стоматології штучний інтелект став популярний протягом останніх кількох десятиліть, зокрема в ортодонтії його використовують для діагностики, визначення потреби лікування, цефалометрії, планування лікування, прогнозування лікування, ортогнатичних маніпуляцій.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Застосування штучного інтелекту в ортодонтії, та перспективи розвитку у цій галузі. Штучний інтелект (ШІ) – це здатність комп'ютера або машини виконувати завдання, які зазвичай вимагають людського інтелекту, такі як навчання, вирішення проблем, прийняття рішень і розуміння мови. Він має потенціал для революційних змін у багатьох аспектах науки. ШІ може використовуватись для допомоги при виконанні різноманітних завдань, включаючи діагностику та планування лікування, прогностичну аналітику, хірургічні процедури та лабораторну роботу [2]. Основна мета ШІ – надати машині можливість мати власний інтелект. Іншими словами, ШІ спрямований на те, щоб машина могла навчатися за допомогою даних, вирішувати проблеми самостійно [1].

На глобальному рівні ми вже відчуваємо на собі наслідки ШІ. У соціальних мережах, вебпошуку та повсякденних пристроях, таких як камери, телефони, планшети і навіть автомобілі. Основою ШІ є машинне навчання. Машинне навчання робить прогнози щодо нових даних

та обставин, використовуючи статистичні закономірності раніше вивчених даних. Для роботи машинного навчання необхідні навчальні дані. При такому підході комп'ютерна модель може розвиватися з часом, навчаючись на власному досвіді, а не за допомогою звичайного програмування. Існують різні типи досліджень, що проводяться з точки зору цефалометричних вимірювань з використанням ШІ. Згідно з сучасною літературою, автоматичне виявлення орієнтирів, а також цефалометричні вимірювання з використанням різних цефалометричних програмних забезпечень мають високий рівень точності [3].

Інструменти машинного навчання можуть забезпечити клініцистів рішеннями, орієнтованими на конкретного пацієнта. Технології, що стосуються використання ШІ або машинного навчання в ортодонтії, розподілені та висвітлені у такому порядку:

Діагностика та планування лікування:

А) Аналіз та інтерпретація зображень.

Б) Комп'ютерна діагностика.

В) Моделювання лікування та прогнозування результатів.

А) Аналіз та інтерпретація зображень. Розробка інструментів машинного навчання та їх використання в прийнятті індивідуальних рішень, можливі лише за наявності цифрових даних пацієнта. Система може аналізувати дані з одного джерела або комбінувати декілька, для отримання точнішого результату.

В ортодонтії цифрові рентгенографічні дані можуть бути отримані у вигляді бічних або фронтальних цефалограм, а також панорамної томографії для двохвимірних зображень або конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ) для трьохвимірних зображень, як правило.

Оптичне сканування є ще одним рішенням для отримання даних про поверхню, однак, інформація обмежується поверхнею об'єкта. Оптичні сканери можна класифікувати як інтраоральні та екстраоральні. Інтраоральні сканери можуть використовуватися для запису стану і положення зубів безпосередньо, що усуває необхідність у звичайних відбитках або моделях, що виготовляються. Екстраоральні сканери можуть використовуватися для оптичного сканування виготовлених моделей або сканування профілю обличчя пацієнта. З поширенням цифрових технологій деякі інструменти машинного навчання почали використовувати для більш ефективної обробки даних про пацієнтів. Такі інструменти можуть бути інтегровані в клінічний документообіг як

повністю автоматичні та надавати користувачеві частковий або повний контроль над ними. Таким чином, лікар може вибрати систему, яка найбільш підходить для клінічного документообігу та ефективно інтегрувати її в свій робочий процес. Цефалометричний аналіз базується на визначенні анатомічних орієнтирів на рентгенограмах, вимірювання відстаней, кутів і співвідношень для оцінки сагітальних і вертикальних взаємовідношень анатомічних структур. Система, розроблена для цефалометричного аналізу може вимагати ручного маркування орієнтирів, може забезпечувати повністю автоматичне виявлення орієнтирів, або користувач може підтвердити чи переглянути положення орієнтирів, запропонованих системою. Розвиток хмарних технологій уможливив розробку онлайн-систем. Перевагами цих систем є те, що вони не потребують потужного комп'ютера в клініці, оскільки аналіз проводиться на центральному комп'ютері, а також той факт, що до них можна отримати доступ з різних платформ, таких як персональні комп'ютери та мобільні телефони [5].

Оцінка розвитку кісток скелета відіграє важливу роль у плануванні ортодонтичного лікування. Показники зрілості скелета можна оцінити по різних рентгенографічних знімках, таких як бічні цефалограми. Рентгенографічна оцінка віку кісток за допомогою машинного навчання – ще одна популярна тема для дослідників. Подібно до цефалометричного аналізу, показники дозрівання можуть бути сегментовані автоматично або за допомогою користувача, і система генерує вихідні дані відповідно до вхідних даних та встановленої математичної моделі. Такі системи можуть проводити аналіз як з одним зображенням, так і комбінувати різні зображення і дані [4, 6, 7].

Системи для оцінки асиметрії або вимірювання об'єму синусів і дихальних шляхів можуть використовуватись як для двохвимірних, так і для трьохвимірних зображень. Програми обробки зображень не обмежуються лише рентгенографічними даними, цифрові фотографії обличчя та дані поверхневого сканування інтраоральних або екстраоральних ділянок, а можуть бути оброблені для отримання прогнозу щодо функціональних та естетичних даних. делеговано ШІ. Однак клініцисту потрібно брати на себе відповідальність, особливо при прийнятті рішень, які матимуть значний вплив на діагностику та процес лікування [8].

Б) Комп'ютерна діагностика. Системи комп'ютерної діагностики (CAD) аналізують цифрові вхідні дані, і генерують вихідні дані,

щоб допомогти лікарю в процесі прийняття клінічних рішень. CAD – системи можуть приймати дані з одного джерела або комбінувати декілька, в тому числі до уваги беруть: стать, вік, географічні дані, результати лабораторних досліджень, історію хвороби тощо. Такі параметри, як підготовка клініциста відіграють вирішальну роль у традиційному процесі прийняття клінічних рішень.

Сприйняття інтелектуальної машини обмежується тим, що було передбачено при розробці і отримані в результаті пропозиції можуть представляти те, чого не вистачало клініцистам. Таким чином, цінна інформація щодо діагностики та лікування може генеруватись, наприклад з деяких архівних записів, які без CAD – системи навіть не розглядалися. У випадках коли підготовка і досвід клініциста недостатні, рекомендації CAD – системи можуть суттєво допомогти.

Але навіть в такому разі, остаточне рішення про точність і можливість використання рекомендацій CAD – системи знову ж таки залишається за лікарем-практиком [9,10,11].

В) Моделювання лікування та прогнозування результатів. Для оцифровування такої інформації можуть бути дані у текстовому вигляді, 2D- та 3D-рентгенографічні дані, а також оптичні дані. Віртуальні моделі та цифрові відбитки створені за допомогою інтраоральних сканерів та 3D-візуалізації, забезпечують об'ємне відображення зубів пацієнта та структур ротової порожнини в цифровому вигляді. Алгоритми ШІ об'єднують різні дані про пацієнта такі як цифрові моделі, скани обличчя, рентгенограми та клінічні записи, щоб створити комплексну картину ортодонтичного стану пацієнта в цілісному вигляді та прийняти рішення щодо плану лікування. Електронне збереження віртуальних моделей і цифрових відбитків забезпечує швидкий доступ, пошук, а також кращу комунікацію та командну роботу між спеціалістами-ортодонтами. Крім того, за допомогою ШІ можна створювати альтернативні плани лікування, щоб обрати найкращий залежно від вимог і можливостей пацієнта, беручи до уваги час лікування, складність та очікуваний результат. Алгоритми ШІ можуть використовуватися для аналізу даних про пацієнта з метою прогнозування тривалості лікування, оцінки успішності лікування, оцінки довгострокової стабільності та створення індивідуалізованого плану лікування. Завдяки використанню цих інструментів у клінічній практиці, пацієнт краще розуміє процес, який відбуватиметься під час ортодонтичного

лікування, і певною мірою має можливість взяти участь у прийнятті рішень для більш передбачуваних результатів.

Ріст і розвиток кожної людини є унікальним і не передбачуваним, аналогічно реакція кожного пацієнта на лікування є різною, на це впливає багато факторів. Використання таких систем в створенні плану лікування може сприяти покращенню прогнозу та наблизенні результатів які очікує пацієнт. Слід уточнити, що розрахунки в цих системах є лише наближеними і можуть не відображати остаточні результати лікування [12].

Висновки. Незважаючи на великий потенціал ШІ в ортодонтії потрібно зробити діагностичний процес більш точним та ефективним, робота зі ШІ ще не стала основним інструментом у повсякденній ортодонтичній практиці. Попри те, що ШІ може підвищити точність діагностики, він не може повністю замінити людський інтелект, але здатний суттєво покращити результати лікування, підвищити економічність та ефективність.

Література:

1. Monill-González, A., Rovira-Calatayud, L., d'Oliveira, N. G., & Ustrell-Torrent, J. M. (2021). Artificial intelligence in orthodontics: Where are we now? A scoping review. *Orthodontics and Craniofacial Research*, 24 (Suppl. 2), 6–15. <https://doi.org/10.1111/ocr.12517>
2. Shan, T., Tay, F. R., & Gu, L. (2020). Application of artificial intelligence in dentistry. *Journal of Dental Research*, 100(3), 232–244.
3. Tsolakis, I. A., Tsolakis, A. I., Elshebiny, T., Matthaios, S., & Palomo, J. M. (2022). Comparing a fully automated cephalometric tracing method to a manual tracing method for orthodontic diagnosis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(22), 6854.
4. Orhan, K., & Jagtap, R. (Eds.). (2023). *Artificial Intelligence in Dentistry* (pp. 131–141). https://doi.org/10.1007/978-3-031-43827-1_8
5. Alsubai, S. (2022). A critical review on the 3D cephalometric analysis using machine learning. *Computers*, 11(11), 154.
6. Amasya, H., Cesur, E., Yildirim, D., & Orhan, K. (2020). Validation of cervical vertebral maturation stages: Artificial intelligence vs human observer visual analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 158(6), e173–e179.
7. Amasya, H., Aydoğan, T., Cesur, E., Kemaloğlu Alagöz, N., Uğurlu, M., Bayrakdar, İ. Ş., et al. (2023). Using artificial intelligence models to evaluate envisaged points initially: A pilot study. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 237(6), 706–718. <https://doi.org/>

10.1177/09544119231173165

8. Orhan, K., Shamshiev, M., Ezhov, M., Plaksin, A., Kurbanova, A., Ünsal, G., et al. (2022). AI-based automatic segmentation of craniomaxillofacial anatomy from CBCT scans for automatic detection of pharyngeal airway evaluations in OSA patients. *Scientific Reports*, 12(1), 1–9.

9. Alam, M. K., Abutayyem, H., Kanwal, B., & Shayeb, M. A. L. (2023). Future of orthodontics – A systematic review and meta-analysis on the emerging trends in this field. *Journal of Clinical Medicine*, 12(2), 532.

10. Baxi, S., Shadani, K., Kesri, R., Ukey, A., Joshi, C.,

& Hardiya, H. (2022). Recent advanced diagnostic aids in orthodontics. *Cureus*, 14(11), e31921.

11. Gupta, A. (2020). Challenges for computer aided diagnostics using X-ray and tomographic reconstruction images in craniofacial applications. *International Journal of Computer Vision and Robotics*, 10(4), 360–371.

12. Elnagar, M. H., Aronovich, S., & Kusnoto, B. (2020). Digital workflow for combined orthodontics and orthognathic surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 32(1), 1–14.