

УДК: 616-089.23:004.8

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОРТОДОНТІЇ

Кузык І.М., Котельбан А.В.

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

Застосування штучного інтелекту (ШІ) в ортодонтії є дуже різноманітним й варіюється від ідентифікації анатомічних та патологічних структур зубо-щелепного апарату людини до підтримки прийняття складних рішень у плануванні ортодонтичного лікування. Метою даної роботи було проаналізувати сучасні погляди на використання методик та моделей штучного інтелекту в ортодонтії на основі проведення огляду літератури. Було опрацьовано наукові публікації різних наукометричних баз даних (PubMed, Scopus, Google Scholar та Web of Science) протягом останніх 5 років. Штучний інтелект є одним із найперспективніших інструментів завдяки високій точності та ефективності роботи. Практикуючі стоматологи зможуть використовувати його як додатковий інструмент для зменшення робочого навантаження. Однак для цього потрібна тісна кооперація комерційних продуктів ШІ з науковим співтовариством, подальші дослідження, включаючи рандомізовані клінічні випробування, з метою апробації та інтеграції цієї концепції в стоматологічній практиці.

Ключові слова: стоматологія, діагностика, машинне навчання, цефалометрія.



Цитуйте українською: Кузык ІМ, Котельбан АВ. Використання штучного інтелекту в ортодонтії. Експериментальна і клінічна медицина. 2023;92(4):70-80. <https://doi.org/10.35339/ekm.2023.92.4.kuk>

Cite in English: Kuzyk IM, Kotelban AV. The use of artificial intelligence in orthodontics. Experimental and Clinical Medicine. 2023;92(4):70-80. <https://doi.org/10.35339/ekm.2023.92.4.kuk> [in Ukrainian].

Вступ

Ортодонтична діагностика – це комплексний процес, який об'єднує різноманітну інформацію, отриману з лицевих та оклюзійних параметрів пацієнта, враховуючи його індивідуальні потреби. Щоб зробити процес діагностики більш точним і ефективним використовують інструменти штучного інтелекту. В ортодонтії його застосовуван-

ня значно зросло за останні роки, що відображається експонентним збільшенням кількості наукових публікацій, про інтеграцію штучного інтелекту в повсякденну клінічну практику [1; 2].

Штучний інтелект (ШІ) – це здатність комп'ютерного устаткування виконувати завдання, які зазвичай вимагають людського інтелекту. У багатьох випадках ШІ можна розглядати як цін-

Відповідальний автор: Кузык І.М.
Поштова адреса: Україна, 58002,
м. Чернівці, Театральна пл., 2, БДМУ.
E-mail: kuzyk.illia@bsmu.edu.ua

Corresponding author: Kuzyk I.M.
Postal address: Ukraine, 58002,
Chernivtsi, Teatralna sq., 2, BSMU.
E-mail: ov.kuzyk.illia@bsmu.edu.ua

ний інструмент, алгоритми якого допомагають стоматологам і клініцистам аналізувати данні з кількох джерел інформації (багатомодальних даних). Ці алгоритми вчать бачити, обробляти та розуміти світ так само, як це робить людський мозок, використовуючи для характеристики та опису об'єктів обчислювальну модель, яка називається згортковою нейронною мережею (Convolutional Neural Network, CNN).

Застосування штучного інтелекту в ортодонтії є дуже різноманітним й варіюється від ідентифікації анатомічних та патологічних структур зубо-щелепного апарату людини до підтримки прийняття складних рішень у плануванні ортодонтичного лікування.

Метою даної роботи було проаналізувати сучасні погляди на використання методик та моделей штучного інтелекту в ортодонтії на основі проведення огляду літератури.

Матеріали і методи

Для вирішення поставленої мети було опрацьовано наукові публікації різних наукометричних баз даних (PubMed, Scopus, Google Scholar та Web of Science протягом останніх 5 років.

Результати та їх обговорення

Планування ортодонтичного лікування зазвичай базується на клінічному досвіді та практичних навичках ортодонтів. Оскільки кожен клінічний випадок є унікальним в кожного окремого пацієнта, то лікування повинно плануватись та проговорюватись спільно двома сторонами. В ортодонтії ШІ застосовується при аналізі структури лицевого скелета та ідентифікації анатомічних орієнтирів [1], аналізі рентгенограм і 3D-сканів, визначенні кісткового віку та при плануванні і прогнозуванні результатів лікування [2]. Ці вміння ШІ значно поліпшують комунікацію між пацієнтами та стоматологами, часто усувають потребу в багатьох клінічних та лабораторних проце-

дурах, а результати таких досліджень набагато точніші, ніж проаналізовані людиною [3].

Традиційним і найбільш складним методом ортодонтичної діагностики є цефалометричний аналіз [1]. Цей вид рентгенологічного дослідження був представлений Broadbent В.Н. ще в 1931 році, але досі залишається наріжним каменем при плануванні ортодонтичного лікування [4]. Першим кроком в аналізі цефалометричних зображень є визначення анатомічних орієнтирів, на основі яких можна виконати геометричні оцінки у вигляді кутів, відстаней і співвідношень, що дозволяє провести аналіз лицевого черепа в різних площинах [5].

До використання штучного інтелекту геометричні побудови та вимірювання полегшувалися лише програмними рішеннями, але ідентифікація самих орієнтирів залишалася рутинним завданням для практикуючого лікаря [6]. Хоча ручна ідентифікація залишається найбільш використовуваним методом, перехід до аналізу за допомогою штучного інтелекту дозволяє уникнути тривалих процедур і мінімізує систематичні та випадкові суб'єктивні помилки. Сьогодні різні дослідники змогли автоматизувати цей тривалий і схильний до помилок процес за допомогою алгоритмів ШІ [7; 8].

Yu H.J. та його колеги (2020) позитивно оцінили систему, пов'язану з CNN, чутливість, специфічність і точність якої досягла понад 90 % у вертикальній і сагітальній діагностиці скелета [9]. Щодо розміщення анатомічних орієнтирів, то використання штучного інтелекту показало обнадійливу точність їх розташування у діапазоні від 88,43 % до 92,00 % залежно від клінічного випадку [10; 11].

Більшість досліджень, які вивчають використання штучного інтелекту для автоматизованого цефалометричного рентгенівського аналізу, оцінюють

точність свого штучного інтелекту на основі метричного відхилення між орієнтирами, встановленими штучним інтелектом і золотим стандартом людини. У цьому контексті Schwendicke F. та ін. (2021) провели мета-аналіз, у якому аналізувалася точність автоматичного визначення орієнтирів різними дослідниками. Автори продемонстрували, що більшість включених досліджень змогли ідентифікувати орієнтири в межах метричної межі допуску 2 мм [12].

Інструменти штучного інтелекту з машинним і глибоким навчанням продемонстрували високу точність розрахунку цефалометричних даних, але вони все одно вимагають від фахівця-ортодонта додаткової перевірки положення кожного орієнтира після автоматичної ідентифікації. Помилки в ідентифікації орієнтира, а не безпосереднє вимірювання величин, все ще залишаються значним джерелом неточності аналізу. Ця точність розпізнавання орієнтирів із дво- чи тривимірних зображень була б ключем до автоматизації діагностичної процедури [14].

Велике значення для корекції дисгнатії у дітей та підлітків має оцінка потенціалу росту та визначення часу пубертатного стрибка росту [15]. Динаміка росту в підлітковому віці сильно варіює, тому оцінка виключно хронологічного віку недостатня для оцінки ступеня росту дитини [16]. Скелетний вік в свою чергу набагато більше підходить для індивідуальної оцінки росту, який можна визначити рентгенологічно за допомогою пов'язаних із ростом змін кісток зап'ястка або тіл хребців. Цей метод також відомий як метод дозрівання шийних хребців (Cervical Vertebral Maturation, SVM-метод). Аналіз обох методів значно корелює один з одним [17]. На відміну від рентгенівських знімків зап'ястя, оцінка скелетного віку на основі дозрівання тіл хребців має перевагу в тому, що не вимагає додат-

кового опромінення пацієнта, оскільки дана оцінка виконується на телерентгенограмі, які в будь-якому випадку є частиною ортодонтичної діагностики.

Метод SVM базується на морфологічній зміні тіл хребців C2–C4. На основі аналізу виділяють шість стадій зрілості скелета [17]. Правильне визначення ступеня зрілості скелета за допомогою цього методу є складним. Існує висока ймовірність помилок через індивідуальні анатомічні особливості пацієнтів. Для усунення проблеми та об'єктивізації визначення скелетного віку були розроблені підходи до автоматизації цього процесу з використанням ШІ [15]. Результати дослідження досить різноманітні. За даними Кок Н. та співавтори (2019) виявили помірний збіг від 58 % до 71 % між прогнозами SVM стадій штучного інтелекту та золотим стандартом людини [17]. Seo Н. та ін. (2021) змогли продемонструвати високу точність прогнозів для різних алгоритмів ШІ, що становила понад 90 % [18].

Оцінка віку осіб відіграє важливу роль не тільки в стоматології, а й є суміжною проблематикою в контексті судово-медичної експертизи. Так Guo Y.C. та співавтори (2021) зібрали 10 257 ортопантограм та вивели лінійні моделі логістичної регресії для кожного встановленого вікового порогу в 14, 16 і 18 років [19]. Метод базується на аналізі лівих нижніх восьми постійних зубів або окремо взятого третього моляра. Після навчання наскрізної CNN, яка класифікувала зубний вік, результати показують, що порівняно з ручними методами (92,5 %; 91,3 %; і 91,8 % для вікових порогів 14, 16 і 18 років відповідно), наскрізні моделі CNN працюють ефективніше (95,9 %; 95,4%; і 92,3% для вікових порогів 14, 16 і 18 років відповідно). Ця робота доводить, що моделі CNN можуть перевершувати людські навички аналізу за віковою класифікацією, а характеристики та вікові параметри, виз-

начені за допомогою машинного навчання, можуть відрізнятися від тих, що проаналізувала людина і бути точнішими.

В ортодонтичній діагностиці, сучасні алгоритми ШІ також можуть бути використані також і для визначення плану лікування [20]. Одним із таких прикладів є рішення «за» або «проти» видалення зубів за ортодонтичними показаннями. З огляду на безліч клінічних, рентгенологічних і навіть соціально-культурних чинників, рішення щодо ортодонтичної екстракції залишаються складними. Важко прийняти «ідеальний» вибір в інтересах пацієнта, оскільки це також залежить від особистої підготовки, досвіду та філософії роботи практикуючого лікаря [21; 22].

В останні роки було розроблено декілька підходів до автоматизації та об'єктивізації цього складного процесу [21]. Різні алгоритми ШІ були навчені на великій кількості даних пацієнтів, що складали відбір клінічних даних, радіологічних результатів, параметрів моделі та відповідної експертної оцінки всіх «за» та «проти» ортодонтичної екстракції. Перші дослідження показали багатообіцяючі результати з «правильним» прогнозом від 80 % до 94 % щодо того, чи потрібна екстракція [21]. Важливі ортодонтичні параметри, такі як ступінь скупченості, положення передніх зубів, нахил і прикус, закриття губ були проаналізовані алгоритмами ШІ, що суттєво вплинуло на рішення про видалення зубів.

Real A.D. та ін. (2022) показали, що алгоритми штучного інтелекту можуть особливо надійно передбачити рішення щодо видалення, коли радіологічні дані та параметри моделі використовуються разом як діагностична основа [23].

Jung S.K. та ін. (2016) запропонували модель для оцінки необхідності видалення зубів за ортодонтичними по-

казами використовуючи бічні цефалометричні рентгенограми [24]. Крім того, деякі дослідження показали, наскільки алгоритми штучного інтелекту можуть додатково передбачити ідеальну схему видалення. Наприклад, комбінацію видалення першого та другого премолярів у різних квадрантах. Було представлено правильний прогноз моделі екстракції приблизно в 84 % випадків [24].

Jung S.K. та ін. (2016) також на основі бічних цефалограм 156 пацієнтів показали, що експертні системи штучного інтелекту з машинним навчанням нейронної мережі можуть бути корисними в ортодонтії [22]. Для своєї роботи вони створили 5 груп планів лікування: без видалення, видалення першого премоляра верхньої та нижньої щелепи, видалення другого премоляра верхньої та нижньої щелепи, видалення першого премоляра верхньої та нижньої щелепи, і лише видалення першого премоляра верхньої щелепи. Після навчання моделі рівень її успіху становив 93 % для діагностики екстракції проти неекстракції, та 84 % – при аналізі детальної діагностики різних моделей екстракції.

Для лікарів загальної практики Thanathornwong B. (2018) розробив систему оцінки потреби в ортодонтичному лікуванні пацієнтів у період постійного прикусу [25]. Було обрано байєсівську мережу як основну модель, що в результаті дала обнадійливі результати та показала високу точність класифікації пацієнтів на групи, які потребують і не потребують ортодонтичного лікування.

Іншим напрямком використання штучного інтелекту є ортодонтична хірургія [22]. Важливість цього рішення актуальна у випадках, коли неможливо досягти адекватної оклюзії за допомогою ортодонтичної апаратури, або коли основні скарги пацієнта не можуть бути усунені лише ортодонтичним лікуванням. Тому незворотні процедури, такі як видалення зубів, не повинні виконувати-

ся допоки ортогнатична хірургія не буде з упевненістю виключена [26]. Такі рішення також можуть відрізнятися між різними практикуючими лікарями через відмінності в досвіді роботи та різних поглядах на клінічну ситуацію. Оскільки стандартизованих критеріїв для прийняття рішень щодо необхідності ортогнатичної хірургії немає, існують підходи, які намагаються підтримати клініцистів за допомогою алгоритмів ШІ [27].

Choi H.I. та ін. (2019) запропонували модель штучного інтелекту, щоб визначати, чи потрібна операція при використанні бічних цефалометричних рентгенограм. Рівень успіху моделі показав 96 % для діагностики хірургічного/нехірургічного рішення та 91 % для визначення виду майбутньої операції та рішення про екстракцію зуба [28]. Kim Y.H. та ін. (2021) використовували різні згорткові нейронні мережі як алгоритми штучного інтелекту, які досягли правильності прогнозів від 91 % до 94 % випадків [26].

Подібним чином Shin W. та ін. (2021) та Lin G. та ін. (2021) дійшли висновку з точністю 95,4 % і 87,4 % відповідно, що програму глибокого навчання можна використовувати для визначення потреби в ортогнатичній хірургії. Остання публікація також визначила, що можна передбачити майбутню потребу в хірургічному втручанні для виправлення сагітальної скелетної невідповідності у пацієнтів після хейлота ураностафілопластики у віці 6 років [27; 29].

Як допоміжний метод діагностики та подальшого лікування в ортодонтії широко використовується фотометрія. Інструменти штучного інтелекту були запропоновані для оцінки фотометричних показників після лікування [30; 31]. У дослідженні Jeong S.H. та співавторів (2020) 822 передніх і бокових фотографій обличчя використову-

валися для тестування та аналізу моделі глибокого навчання та подальшої діагностики зубо-лицевого дисморфізму [30]. Вибірку оцінювали 5 досвідчених клініцистів і розподіляли за потребою в ортогнатичній хірургії. Алгоритм CNN показав точність 89,3 % щодо прогнозу необхідності ортогнатичної операції за допомогою фотографій обличчя. Це цікавий новий підхід, який показує, що штучний інтелект може бути використаний для визначення необхідності ортогнатичної хірургії, однак для вдосконалення цього інструменту необхідне додаткове навчання з включенням інших діагностичних даних.

Разом з аналізом фотопротоколу, важливою частиною аналізу даних пацієнтів для ортодонтичної діагностики та планування лікування є стоматологічні моделі, які зазнали значних технологічних змін. Сьогодні використовують не тільки класичні гіпсові відбитки, а й відбитки з цифровим скануванням та повноцінне внутрішньоротове сканування [32]. Аналіз рентгенограм і зображень, зроблених внутрішньоротовими сканерами можна використовувати для діагностики та планування ортодонтичного лікування. Це усуває потребу в проведенні лабораторних маніпуляцій, таких як зняття аналогових відбитків пацієнтів, відлиту моделей. Результати цифрової діагностики часто набагато точніші [33; 34].

Основним завданням такого планування ортодонтичного лікування є сегментація та класифікація зубів на цифрових моделях. Cui Z. та ін. (2021) запропонували декілька алгоритмів штучного інтелекту для автоматичного сегментування зубів на цифрових моделях, відсканованих 3D-внутрішньооральним сканером [35]. Також Cui Z. та співавтори (2022) досягли успіху при сегментації зубів за допомогою конусно-променевої комп'ютерної томографії [36]. Окрім сегментації зубів, дослідники

також сегментували альвеолярну кістку, ефективність якої перевершила роботу рентгенологів.

Станом на сьогодні з'явився підвищений інтерес до використання ШІ для цифрового планування елайнерів і фіксації брекет-систем. Використовуючи точні 3D-сканування та віртуальні моделі, можна легко надрукувати та виготовити елайнери відповідно до унікальної стратегії лікування. Оскільки обробляється величезна кількість даних, розробляється алгоритм, який визначає, під яким тиском і як слід переміщати зуби пацієнта, а також точки тиску, характерні для цього зуба або групи зубів. Елайнери, виготовлені з використанням штучного інтелекту, скорочують тривалість лікування, а сам процес роблять більш точним, простішим та прогнозованішим [1]. Однак наразі цифрові налаштування виконуються майже виключно на цифрових стоматологічних моделях, що не дозволяє оцінити критичне положення коренів зубів у кістці. Важливо, що рух зуба, який може здаватися простим у цифрових налаштуваннях, може сприяти переміщенню зуба поза альвеолярною кісткою або небажаним стоматологічним ефектам [32].

Панорамна рентгенографія є найпоширенішим методом візуалізації, який використовується в стоматології для лікування стоматологічного скринінгу та підходу до прийняття рішень [37]. У той же час, панорамні зображення складні для аналізу через велику кількість інформації (зокрема, патології зубів і скелета, аномалій та пошкоджень тканин пародонта), а також через накладання різних анатомічних структур, що впливає на якість зображення. У цьому випадку штучний інтелект може стати важливою підтримкою для стоматологів [38]. У літературі глибоке навчання було залучено в основному для діагностики та аналізу зубних

рядів, оскільки виявлення патологічних станів є складнішим і, ймовірно, потребує більшого навчання моделі для покращення результатів [39]. Було створено різні автоматизовані моделі для аналізу панорамних рентгенограм для ідентифікації, сегментації та розрізнення зубів відповідно до зубного ряду (постійний або молочний), квадранта (верхній, нижній, лівий, правий) і категорії (різець, ікло, премоляр, моляр) [40].

Сучасне прагнення стоматологічних практик підвищити ефективність лікування призвело до розробки численних інструментів для досягнення цього, таких як програмне забезпечення Dental Monitoring (DM) [41].

Dental Monitoring – це комбінація штучного інтелекту та телемедицини, яка забезпечує легку щоденну співпрацю та спілкування між стоматологічною клінікою та пацієнтом через програмне забезпечення для смартфона. Використання DM полегшує координацію та виконання кожного кроку та моніторинг досягнутих цілей протягом усього періоду лікування. Через переваги використання цього інструменту як лікарем, так і пацієнтом, зростає попит на додатки для здоров'я не лише в ортодонтії, а й в інших медичних спеціальностях [42]. Поточні дослідження показали, що телемедицина також надає змогу покращити доступність первинної медичної допомоги, оскільки вона може скоротити час отримання консультації від спеціаліста, зменшити кількість візитів та час очікування, а також дозволяє швидше реагувати на термінові випадки [43].

На відміну від інших телекомунікаційних систем, таких як Skype, Google Duo, Zoom та інші [44], які не можуть забезпечити стандартизовану оцінку клінічної ситуації, система DM забезпечує автоматизацію процесу за допомогою алгоритмів глибокого навчання [45].

Dalessandri D. та ін. (2021) досліджували підхід пацієнтів і стоматологів до системи DM під час ортодонтичного лікування. Зібрані дані показали, що всі стоматологи оцінили телемоніторинг позитивно, атже такий спосіб зменшує кількість візитів до клініки. Крім цього, 96,25 % з них вважали його показником високотехнологічного та якісного лікування. Також 97,5 % опитаних оцінили телемоніторинг позитивно; 81,25 % вважали телемоніторинг показником високотехнологічного лікування, і ці ж 81,25 % заявили про свою зацікавленість у зменшенні кількості візитів до кабінету [46].

Дослідження Impellizzeri A. та ін. (2020) свідчить про те, що використання DM з дугами CuNiTi 0,014×0,025 при ортодонтичному лікуванні з самолігуючою брекет-системою в техніці прямої дуги успішно зменшило кількість зустрічей для кожного пацієнта з трьох до двох за 10 тижнів роботи. У зв'язку з цим спостерігалось скорочення часу використання стоматологічного крісла в кабінеті та зменшення матеріальних витрат клініки, а оцінка перебігу лікування лікарем стала точнішою та швидшою [47].

Висновки

Штучний інтелект є одним із найперспективніших інструментів роботи завдяки високій точності та ефективності в роботі з ним. Враховуючи сучасну наукову динаміку в галузі ШІ, можна припустити, що він стане невід'ємною частиною діагностики та планування лікування в найближчому майбутньому. Практикуючі стоматологи зможуть використовувати його як додатковий

інструмент для зменшення робочого навантаження та підвищення точності діагностики, прийняття рішень, планування лікування та прогнозування його результатів. Однак для цього потрібна тісна кооперація розробників комерційних продуктів ШІ з науковим співтовариством, щоб надавати практикуючим лікарям належну діагностичну оцінку для прийняття надійних та обґрунтованих терапевтичних рішень. Потрібні подальші дослідження, включаючи рандомізовані клінічні випробування, щоб підтвердити цінність цієї концепції в стоматологічній практиці з метою надання високоефективної стоматологічної допомоги та оптимальних варіантів лікування для пацієнтів.

Сучасний штучний інтелект чудово вміє використовувати структуровані знання та отримувати розуміння з величезних масивів даних. Але він не здатний створювати асоціації, як це робить людський мозок, і лише частково здатний приймати складні рішення в клінічній ситуації. У свою чергу ефективність роботи ШІ досягається тільки тоді, коли використовуються неупереджені навчальні дані та належним чином пропрацьований та натренований алгоритм.

Застосування штучного інтелекту в ортодонтії є дуже близьким до використання широким загалом, а області застосування в практиці лікаря є найрізноманітнішими. Розроблення рішень з використанням ШІ для різних клінічних проблем полегшує роботу лікарів. Штучний інтелект має потенціал зробити революцію в медицині та стоматології зокрема.

Конфлікт інтересів відсутній.

Література

1. Junaid N, Khan N, Ahmed N, Abbasi MS, Das G, Maqsood A. Development, application, and performance of artificial intelligence in cephalometric landmark identification and diagnosis: a systematic review. *Healthcare*. 2022;10(12):2454. DOI: 10.3390/healthcare10122454. PMID: 36553978.

2. Ding H, Wu J, Zhao W, Matinlinna JP, Burrow MF, Tsoi JKH. Artificial intelligence in dentistry – A review. *Front Dent Med.* 2023. DOI:10.3389/fdmed.2023.1085251.
3. Im J, Kim J, Yu H, Lee KJ, Choi SH, Kim JH et al. Accuracy and efficiency of automatic tooth segmentation in digital dental models using deep learning. *Sci Rep.* 2022;12(1): 9429. DOI: 10.1038/s41598-022-13595-2. PMID: 35676524.
4. Kunz F, Stellzig-Eisenhauer A, Boldt J. Applications of Artificial Intelligence in Orthodontics – An Overview and Perspective Based on the Current State of the Art. *Appl Sci.* 2023;13(6):3850. DOI: 10.3390/app13063850.
5. Arik SO, Ibragimov B, Xing L. Fully automated quantitative cephalometry using convolutional neural networks. *J Med Imaging.* 2017;4:014501. DOI: 10.1117/1.JMI.4.1.014501. PMID: 28097213.
6. Nishimoto S, Sotsuka Y, Kawai K, Ishise H, Kakibuchi M. Personal Computer-Based Cephalometric Landmark Detection with Deep Learning, Using Cephalograms on the Internet. *J Craniofac Surg.* 2019;30:91-5. DOI: 10.1097/SCS.0000000000004901. PMID: 30439733.
7. Zhong Z, Li J, Zhang Z, Jiao Z, Gao X. An Attention-Guided Deep Regression Model for Landmark Detection in Cephalograms. Cornell University; 2019. P. 540-8. DOI: 10.48550/arXiv.1906.07549.
8. Subramanian AK, Chen Y, Almalki A, Sivamurthy G, Kafle D. Cephalometric analysis in orthodontics using artificial intelligence-A comprehensive review. *Biomed Res Int.* 2022;2022:1880113. DOI: 10.1155/2022/1880113. PMID: 35757486.
9. Yu HJ, Cho SR, Kim MJ, Kim WH, Kim JW, Choi J. Automated skeletal classification with lateral cephalometry based on artificial intelligence. *J Dent Res.* 2020;99(3):249-56. DOI: 10.1177/0022034520901715. PMID: 31977286.
10. Kim H, Shim E, Park J, Kim Y, Lee U, Kim Y. Web-based fully automated cephalometric analysis by deep learning. *Comput Methods Programs Biomed.* 2020;194:105513. DOI: 10.1016/j.cmpb.2020.105513. PMID: 32403052.
11. Lee JH, Yu HJ, Kim MJ, Kim JW, Choi J. Automated cephalometric landmark detection with confidence regions using Bayesian convolutional neural networks. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):270. DOI: 10.1186/s12903-020-01256-7.
12. Schwendicke F, Chaurasia A, Arsiwala L, Lee JH, Elhennawy K, Jost-Brinkmann PG, et al. Deep learning for cephalometric landmark detection: Systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2021;25:4299-309. DOI: 10.1007/s00784-021-03990-w. PMID: 34046742.
13. Moon JH, Hwang HW, Yu Y, Kim MG, Donatelli RE, Lee SJ. How much deep learning is enough for automatic identification to be reliable?: A cephalometric example. *Angle Orthod.* 2020;90(6):823-30. DOI: 10.2319/021920-116.1. PMID: 33378507.
14. Choi YJ, Lee KJ. Possibilities of artificial intelligence use in orthodontic diagnosis and treatment planning: Image recognition and three-dimensional VTO. *Semin Orthod.* 2021; 27(2):121-9. DOI: 10.1053/j.sodo.2021.05.008.
15. Zhou J, Zhou H, Pu L, Gao Y, Tang Z, Yang Y, et al. Development of an Artificial Intelligence System for the Automatic Evaluation of Cervical Vertebral Maturation Status. *Diagnostics.* 2021;11:2200. DOI: 10.3390/diagnostics11122200. PMID: 34943436.
16. Kim DW, Kim J, Kim T, Kim T, Kim YJ, Song IS, et al. Prediction of hand-wrist maturation stages based on cervical vertebrae images using artificial intelligence. *Orthod Craniofac Res.* 2021;24:68-75. DOI: 10.1111/ocr.12514. PMID: 34405944.
17. Kok H, Acilar AM, İzgi MS. Usage and comparison of artificial intelligence algorithms for determination of growth and development by cervical vertebrae stages in orthodontics. *Prog Orthod.* 2019;20(1):41. DOI: 10.1186/s40510-019-0295-8. PMID: 31728776.

18. Seo H, Hwang J, Jeong T, Shin J. Comparison of Deep Learning Models for Cervical Vertebral Maturation Stage Classification on Lateral Cephalometric Radiographs. *J Clin Med.* 2021;10:3591. DOI: 10.3390/jcm10163591. PMID: 34441887.
19. Guo YC, Han M, Chi Y, Long H, Zhang D, Yang J, Yang Y, Chen T, Du S. Accurate age classification using manual method and deep convolutional neural network based on orthopantomogram images. *Int J Legal Med.* 2021;135:1589-97. DOI: 10.1007/s00414-021-02542-x. PMID: 33661340.
20. Nguyen TT, Larrivee T, Lee A, Bilaniuk O, Durand R. Use of artificial intelligence in dentistry: current clinical trends and research advances. *J Can Dent Assoc.* 2021;87(7):1488-2159. PMID: 34343070.
21. Takada K. Artificial intelligence expert systems with neural network machine learning may assist decision-making for extractions in orthodontic treatment planning. *J Evid-Based Dent Pract.* 2016;16:190-2. DOI: 10.1016/j.jebdp.2016.07.002. PMID: 27855838.
22. Jung SK, Kim TW. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149(1). DOI: 10.1016/j.ajodo.2015.07.030. PMID: 26718386.
23. Real AD, Real OD, Sardina S, Oyonarte R. Use of automated artificial intelligence to predict the need for orthodontic extractions. *Korean J Orthod.* 2022;52:102-11. DOI: 10.4041/kjod.2022.52.2.102. PMID: 35321949
24. Jung SK, Kim TW. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149:127-33. DOI: 10.1016/j.ajodo.2015.07.030. PMID: 26718386.
25. Thanathornwong B. Bayesian-based decision support system for assessing the needs for orthodontic treatment. *Healthc Inform Res.* 2018;24(1):22-8. DOI: 10.4258/hir.2018.24.1.22. PMID: 29503749.
26. Kim YH, Park JB, Chang MS, Ryu JJ, Lim WH, Jung SK. Influence of the Depth of the Convolutional Neural Networks on an Artificial Intelligence Model for Diagnosis of Orthognathic Surgery. *J Pers Med.* 2021;11:356. DOI: 10.3390/jpm11050356. PMID: 33946874.
27. Shin W, Yeom H-G, Lee GH, Yun JP, Jeong SH, Lee JH, et al. Deep learning based prediction of necessity for orthognathic surgery of skeletal malocclusion using cephalogram in Korean individuals. *BMC Oral Health.* 2021;21(1):1-7. DOI: 10.1186/s12903-021-01513-3.
28. Choi HI, Jung SK, Baek S, Lim WH, Ahn SJ, Yang IH, et al. Artificial intelligent model with neural network machine learning for the diagnosis of orthognathic surgery. *J Craniofac Surg.* 2019;30(7):1986-9. DOI: 10.1097/SCS.00000000000005650. PMID: 31205280.
29. Lin G, Kim PJ, Baek SH, Kim HG, Kim SW, Chung JH. Early prediction of the need for orthognathic surgery in patients with repaired unilateral cleft lip and palate using machine learning and longitudinal lateral cephalometric analysis data. *J Craniofac Surg.* 2021;32(2):616-20. DOI: 10.1097/SCS.00000000000006943. PMID: 33704994.
30. Jeong SH, Yun JP, Yeom HG, Lim HJ, Lee J, Kim BC. Deep learning based discrimination of soft tissue profiles requiring orthognathic surgery by facial photographs. *Sci Rep.* 2020;10(1):16235. DOI: 10.1038/s41598-020-73287-7.
31. Obwegeser D, Timofte R, Mayer C, Eliades T, Bornstein MM, Schatzle MA, Patcas R. Using artificial intelligence to determine the influence of dental aesthetics on facial attractiveness in comparison to other facial modifications. *Eur J Orthod.* 2022;44(4):445-51. DOI: 10.1093/ejo/cjac016. PMID: 35532375.
32. Miranda F, Barone S, Gillot M, Baquero B, Anchling L, Hutin N et al. Artificial Intelligence Applications in Orthodontics. *J Calif Dent Assoc.* 2023;51(1). DOI: 10.1080/19424396.2023.2195585.

33. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *J Dent Res.* 2020;99(7):769-74. DOI: 10.1177/0022034520915714. PMID: 32315260.
34. Li Q, Chen K, Han L, Zhuang Y, Li J, Lin J. Automatic tooth roots segmentation of cone beam computed tomography image sequences using U-net and RNN. *J Xray Sci Technol.* 2020;28:905-22. DOI: 10.3233/XST-200678. PMID: 32986647.
35. Cui Z, Li C, Chen N, Wei G, Chen R, Zhou Y, et al. TSegnet: an efficient and accurate tooth segmentation network on 3D dental model. *Med Image Anal.* 2021;69:101949. DOI: 10.1016/j.media.2020.101949. PMID: 33387908.
36. Cui Z, Fang Y, Mei L, Zhang B, Yu B, Liu J, et al. A fully automatic AI system for tooth and alveolar bone segmentation from cone-beam CT images. *Nat Commun.* 2022;13(1):1-11. DOI: 10.1038/s41467-022-29637-2.
37. Schwendicke F, Golla T, Dreher M, Krois J. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: a scoping review. *J Dent.* 2019;91:103226. DOI: 10.1016/j.jdent.2019.103226. PMID: 31704386.
38. Chandrashekar G, AlQarni S, Bumann E, Lee Y. Collaborative deep learning model for tooth segmentation and identification using panoramic radiographs. *Comput Biol Med.* 2022;148:105829. DOI: 10.1016/j.combiomed.2022.105829.
39. Krois J, Ekert T, Meinhold L, Golla T. Deep learning for the radiographic detection of periodontal bone loss. *Sci Rep.* 2019;9(1):8495. DOI: 10.1038/s41598-019-44839-3.
40. Hou S, Zhou T, Liu Y, Dang P, Lu H, Shi H. Teeth U-Net: A segmentation model of dental panoramic X-ray images for context semantics and contrast enhancement. *Comput Biol Med.* 2022;152:106296. DOI: 10.1016/j.combiomed.2022.106296. PMID: 36462370.
41. Strunga M, Urban R, Surovkova J, Thurzo A. Artificial Intelligence Systems Assisting in the Assessment of the Course and Retention of Orthodontic Treatment. *Healthcare (Basel).* 2023;11(5):683. DOI: 10.3390/healthcare11050683. PMID: 36900687.
42. Helbostad JL, Vereijken B, Becker C, Todd C, Taraldsen K, Pijnappels M, et al. Mobile Health Applications to Promote Active and Healthy Ageing. *Sensors.* 2017;17:622. DOI: 10.3390/s17030622. PMID: 28335475.
43. Pfeil JN, Rados DV, Roman R, Katz N, Nunes LN, Vigo A, Harzheim E. A Telemedicine Strategy to Reduce Waiting Lists and Time to Specialist Care: A Retrospective Cohort Study. *J Telemed Telecare.* 2020;29:10-7. DOI: 10.1177/1357633X20963935. PMID: 33070689.
44. Thurzo A, Kurilova V, Varga I. Artificial Intelligence in Orthodontic Smart Application for Treatment Coaching and Its Impact on Clinical Performance of Patients Monitored with AI-Telehealth System. *Healthcare.* 2021;9:1695. DOI: 10.3390/healthcare9121695. PMID: 34946421.
45. Hansa I, Katyal V, Ferguson DJ, Vaid N. Outcomes of Clear Aligner Treatment with and without Dental Monitoring: A Retrospective Cohort Study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;159:453-9. DOI: 10.1016/j.ajodo.2020.02.010. PMID: 33573897.
46. Dalessandri D, Sangalli L, Tonni I, Laffranchi L, Bonetti S, Visconti L, et al. Attitude towards Telemonitoring in Orthodontists and Orthodontic Patients. *Dent J.* 2021;9:47. DOI: 10.3390/dj9050047. PMID: 33921925.
47. Impellizzeri A, Horodinsky M, Barbato E, Polimeni A, Salah P, Galluccio G. Dental Monitoring Application: It Is a Valid Innovation in the Orthodontics Practice? *Clin Ter.* 2020;171:e260-7. DOI: 10.7417/CT.2020.2224. PMID: 32323716.

Kuzyk I.M., Kotelban A.V.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ORTHODONTICS

The application of Artificial Intelligence (AI) in orthodontics is very diverse and ranges from the identification of anatomical and pathological structures of the human dentition to support complex decision-making in orthodontic treatment planning. Its application has grown significantly in recent years, as reflected by the exponential increase in the number of scientific publications on the integration of artificial intelligence into everyday clinical practice. In many cases, AI can be seen as a valuable tool whose algorithms help dentists and clinicians analyze data from multiple sources of information. The purpose of this paper was to analyze current views on the use of artificial intelligence techniques and models in orthodontics based on a literature review. The scientific publications of various scientometric databases (PubMed, Scopus, Google Scholar, Web of Science, etc.) over the past 5 years were processed. Artificial intelligence is one of the most promising tools due to its high accuracy and efficiency. Given the current scientific dynamics in the field of AI, it can be assumed that AI will become an integral part of diagnostics and treatment planning in the near future. Practicing dentists will be able to use it as an additional tool to reduce their workload. However, this requires close cooperation of commercial AI products with the scientific community, further research, including randomized clinical trials, to test and integrate this concept in dental practice. Modern artificial intelligence is excellent at utilizing structured knowledge and gaining insights from huge amounts of data. However, it is not able to create associations like the human brain and is only partially capable of making complex decisions in a clinical situation. In turn, the efficiency of AI is achieved only when unbiased training data and a properly designed and trained algorithm are used.

Keywords: *dentistry, diagnostic, machine learning, cephalometry.*

Надійшла до редакції 17.11.2023

Відомості про авторів:

Кузык Ілля Михайлович – аспірант кафедри стоматології дитячого віку Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна.

Адреса: Україна, 58002, м. Чернівці, Театральна пл., 2, БДМУ.

E-mail: kuzyk.illia@bsmu.edu.ua

ORCID: 0009-0006-4018-6710.

Котельбан Анастасія Василівна – кандидат медичних наук, доцент закладу вищої освіти кафедри стоматології дитячого віку Буковинського державного медичного університету, Чернівці, Україна.

Адреса: Україна, 58002, м. Чернівці, Театральна пл., 2, БДМУ.

E-mail: kotelban_anastasiia@bsmu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-8266-3454.

ResearcherID: D-4063-2017.