

Макеев В.Ф., Щерба П.П.

Штучний інтелект у стоматології

Частина 1

Львівський Національний Медичний Університет ім. Данила Галицького, м. Львів, Україна.

Актуальність. Останніми роками в стоматології пройшла хвиля трансформацій та технологічних досягнень, коли штучний інтелект став рушійною силою, яка готова революціонізувати різні аспекти догляду за ротовою порожниною. Оскільки світ бореться за постійно зростаючий попит на ефективні та персоналізовані медичні рішення, штучний інтелект представляє себе як багатообіцяючий союзник в прагненні до підвищення точності діагностики, планування лікування та догляду за пацієнтами у сфері охорони здоров'я, зокрема стоматології.

Мета: систематизувати та оглянути доступні дані науково-дослідної інформації за період 2020–2024 рр. щодо застосування технологій штучного інтелекту і їх використання у стоматологічній практиці для різних напрямків стоматологічної діяльності.

Матеріали і методи. Проведено пошук літератури на сервісі PubMed 26.02.2024 року. Первинний пошук проведений за допомогою алгоритмів MeSH: ((«artificial intelligence» [MeSH Terms]) OR («artificial intelligence» [All Fields])) OR («ai» [All Fields]) AND («dentistry» [MeSH Terms]). До уваги брались публікації за період 2020–2024 рр. Первинний пошук літератури склав 46 публікацій. Після детального аналізу відібраних публікацій для подальшого опрацювання залишено 26 публікацій, які максимально відповідали потребам. Також додано вручну, з інших сервісів, 6 публікацій, які розкривали поставлену те-матику. Відповідно загальна кількість публікацій, яку використовувалось для аналізу, склала 32 статті.

Результати дослідження. Дане дослідження присвячене зростаючому перетину штучного інтелекту та стоматології з метою надання всебічного та достатньо актуального огляду різноманітних застосувань, викликів та можливостей, які виникають на перехресті цих сфер. Завдяки відібраним статтям це дослідження прагне з'ясувати вплив штучного інтелекту на діагностичні процедури, методи лікування та загальний принцип надання послуг у сфері охорони здоров'я з використанням революційних технологій.

Висновок. Штучний інтелект все більше входить у повсякденну роботу стоматологів, що потребує ширшого ознайомлення з його можливостями у різних галузях стоматології.

Ключові слова: Штучний інтелект, стоматологія, пародонтологія, ендодонтія.

Актуальність

Нещодавно, а саме 21.03.2024 року, за ініціативою США, Генеральна асамблея ООН ухвалила перший документ, що регулює галузь штучного інтелекту, щодо просування безпечних і надійних систем, які сприяють сталому розвитку у світі. Документ підкреслює важливість дотримання і захисту прав людини при проектуванні, розробці, впровадженні та використанні технологій штучного інтелекту. Штучний інтелект

повинен працювати на благо людства у всіх галузях науки і техніки, що відповідно стосується і галузі медицини, зокрема стоматології.

Останніми роками в стоматології пройшла хвиля трансформацій та технологічних досягнень, коли штучний інтелект став рушійною силою, яка готова революціонізувати різні аспекти догляду за ротовою порожниною. Оскільки світ бореться за постійно зростаючий попит на ефективні та персоналізовані медичні рішення, штучний інтелект представляє себе

як багатообіцяючий союзник в прагненні до підвищення точності діагностики, планування лікування та доглядом за пацієнтами у сфері охорони здоров'я.

Дане дослідження присвячене зростаючому перетину штучного інтелекту та стоматології з метою надання всебічного та достатньо актуального огляду різноманітних застосувань, викликів та можливостей, які виникають на стику цих сфер. Завдяки відібраним статтям це дослідження прагне з'ясувати вплив штучного інтелекту на діагностичні процедури, методи лікування та загальний принцип надання послуг у сфері охорони здоров'я з використанням революційних технологій. На даний момент використання штучного інтелекту виходить за рамки простої автоматизації; воно охоплює інноваційні підходи до вирішення різноманітних клінічних ситуацій, аналіз зображень, даних обстежень, глибоке навчання та інші спеціалізовані завдання. Це дає змогу спеціалістам приймати більш обґрунтовані рішення та надавати більш індивідуалізовану допомогу кожному пацієнту

У даному дослідженні також розглядаються ключові сфери, де штучний інтелект досягнув відчутного прогресу, включаючи роботу з даними обстежень, прогностичне моделювання та роботизовані процедури. Узагальнюючи висновки з різних дослідницьких робіт, він має на меті надати розуміння поточного стану інтеграції технологій штучного інтелекту в стоматологічну практику, а також потенційні шляхи його розвитку для майбутніх досліджень. Оскільки лікарська спільнота покладає великі надії на штучний інтелект, важливо ретельно вивчити етичні міркування, нормативні рамки та проблеми, пов'язані з цією еволюцією. На завершення, це дослідження прагне пролити світло на трансформаційний потенціал штучного інтелекту в галузі стоматології, пропонуючи зазирнути в майбутнє, де інновації в основі штучного інтелекту відіграють важливу роль в полі охорони здоров'я.

Мета

Систематизувати та оглянути доступні дані науково-дослідної інформації за період 2020–2024 рр. щодо застосування технологій штучного інтелекту і їх використання у стоматологічній практиці для різних напрямків стоматологічної діяльності.

Матеріали і методи

Проведено пошук літератури на сервісі PubMed 26.02.2024 року. Первинний пошук проведений за допомогою алгоритмів MeSH: (((«artificial intelligence» [MeSH Terms]) OR («artificial intelligence» [All

Fields])) OR («ai» [All Fields])) AND («dentistry» [MeSH Terms]). До уваги брались публікації за період 2020–2024 рр. Першочерговий фільтр у пошуковій системі використовувався для відбору публікацій за критеріями: мета-аналіз, огляд, системний огляд. Також тільки публікації англійською мовою відбирались до первинного обсягу даних. Первинний пошук літератури склав 46 публікацій. Після детального аналізу відібраних публікацій для подальшого опрацювання було залишено 26 публікацій, які максимально відповідали потребам. Також вручну, з інших сервісів, було додано 6 публікацій, які розкривали поставлену тематику. Відповідно загальна кількість публікацій, яку використовувалось для аналізу, складала 32 статті.

Для кращого охоплення дана тема буде розділена на 2 частини. У частині 1 буде розглянута загальна інформація про штучний інтелект, великі мовні моделі у практиці стоматолога та використання технологій штучного інтелекту у таких галузях як ендодонтія та парадонтологія. У частині 2 буде розглянуто ортодонтичну, ортопедичну стоматологію та інші галузі стоматології.

Результати дослідження

Штучний Інтелект (ШІ) – це галузь інформатики, що зосереджується на створенні програмного забезпечення / машин, здатних імітувати людський інтелект для здійснення завдань, які традиційно виконуються людьми. Він охоплює різні підвиди, такі як Машинне Навчання (МН), Глибоке Навчання (ГН) та Нейронні Мережі (НМ). Технології штучного інтелекту продемонстрували значний прогрес у стоматології: від діагностики та планування лікування до аналізу зображень та прогнозування результатів лікування [3]. Машинне навчання, підкатегорія штучного інтелекту, дозволила розробити алгоритми, які можуть вивчати внутрішні закономірності та структури даних, щоб робити точні прогнози без явного програмування людиною, що призвело до прогресу в різноманітних програмах у стоматології [1].

Нейронні мережі, включно зі Штучними Нейронними Мережами (ШНМ) та Згортковими Нейронними Мережами (ЗНМ), є невід'ємними частинами штучного інтелекту, які використовуються у стоматології для імітації таких функцій людського мозку, як аналіз та класифікація зображень [8,10]. Ці мережі складаються з взаємопов'язаних штучних нейронів, які обробляють інформацію у відповідь на зовнішні стимули. Це дозволяє виконувати такі завдання, як діагностика стоматологічних захворювань та прогнозування результатів лікування [10].

Використання штучного інтелекту в стоматології революціонізувало прийняття клінічних рішень завдяки використанню технологій ШІ для підвищення ефективності, точності та оптимізації затрат в стоматологічній практиці, що, у свою чергу, призвело до покращення догляду за пацієнтами та результатів лікування [18].

Крім того, прогрес у галузі штучного інтелекту, зокрема глибокому навчанні, проклав шлях до обробки великих об'ємів даних та впровадив комплексний підхід до вирішення питань, зокрема і в стоматологічній практиці [6]. Інтеграція технологій штучного інтелекту в стоматологію пропонує великий потенціал більш персоналізованого підходу до лікування, ефективнішої діагностики та процесів прийняття рішень [6,18]. Використання штучного інтелекту в стоматології не стоїть на місці, тривають дослідження, зосереджені на підвищенні діагностичної точності, плануванні лікування та прогностичних можливостях, що відображає багатообіцяючі майбутні можливості застосування даних технологій у галузі стоматології [10,18].

Штучні Нейронні Мережі (ШНМ) – це обчислювальна модель, яка була створена на основі людського мозку для виконання складних завдань. ШНМ складаються з взаємопов'язаних вузлів (штучних нейронів), організованих у шари для обробки інформації та прогнозування. Вони чудово розпізнають шаблони у вхідних даних і широко використовуються в різних сферах для таких завдань, як інтерпретація зображень і сигналів. ШНМ є важливими компонентами систем машинного і глибоко навчання [6].

ШНМ відіграють важливу роль у різних аспектах стоматології, пропонуючи значний потенціал у процесах прийняття клінічних рішень у різних вузьких спеціальностях. В ортодонтії, наприклад, ШНМ використовуються для допомоги в ретельному плануванні лікування, зокрема у прийнятті рішення про необхідність видалення певних зубів перед початком ортодонтичної терапії [14]. Також підкреслюється успішність використання ШНМ для забезпечення прийняття оптимальних клінічних рішень, особливо у випадках, де незворотні процедури можуть суттєво вплинути як на процес лікування, так і на його результат [14].

Крім того, у пародонтології ШНМ демонструють цінність на діагностичному етапі та прогнозуванні потреби у видаленні періодонтально скомпromетованих зубів. Комплексна патофізіологія агресивних і хронічних форм пародонтиту ускладнює розрізнення двох клінічних типів. Завдяки застосуванню згорткових нейронних мереж у пародонтології, існує

потенціал для точної діагностики та прогнозу періодонтально скомпromетованих зубів, підвищення точності та ефективності стратегій лікування [14].

Згорткові Нейронні Мережі (ЗНМ) – це системи глибокого навчання, які чудово справляються з аналізом і класифікацією зображень. Вони використовують операції згортання для обробки зображень, виділяючи особливості на різних рівнях складності [8]. Різні архітектури ЗНМ широко використовуються для таких завдань, як сегментація кісток з даних комп'ютерної томографії та реконструкція зображень для медичної візуалізації [24]. Вони можуть ефективно виконувати сегментацію та підходи на основі «патчів», роблячи можливим точний аналіз зображень щелепо-лицевої ділянки [24]. ЗНМ стають все більш популярними через їхню можливість анутовати кожен воксель наданого зображення та їхню надійну продуктивність у різноманітних завданнях аналізу зображень [24].

ЗНМ показали значний потенціал у забезпеченні точних прогнозів, наприклад, у використанні системи для оцінки привабливості людей за фотографією до та після хірургічного втручання на обличчі (лівобічне незрощення губи) [2]. Результати засвідчили невелику розбіжність між ШІ та оцінками реальних спеціалістів які оцінювали фотографії, проте вони також показали, що ШІ потребує значних доопрацювань щодо верифікації дефектів обличчя. Крім того, було проведено клінічне випробування з використанням автоматизованої системи інтеграції фотографій для виявлення лицевих та внутрішньоротових «ключових точок» для естетичної стоматології [2]. Результати продемонстрували потенціал автоматизованого алгоритму для оптимізації процесу сегментації, скорочення трудомістких завдань, традиційно пов'язаних з великим об'ємом ручної праці в даній галузі. У іншому дослідженні використали алгоритми з нейронними мережами для точного підбору кольору зубів, які продемонстрували практичну користь у покращенні об'єктивності та точності підбору кольору зубів для пацієнтів, тим самим довівши ефективність використання штучного інтелекту у цьому напрямку [4].

Великі Мовні Моделі (ВММ). 22 листопада 2022 року у загальний доступ випустили ChatGPT. Це була революційна подія подібного плану, яка викликала широкий відгук серед користувачів. Завдяки високій якості продукту уже через 5 днів кількість користувачів налічувала більше мільйона. Для порівняння, досягнення таких цифр зайняло 2 місяці для Instagram, 10 місяців для Facebook та 2

роки для Twitter [25]. Такі великі мовні системи як ChatGPT навчаються постійно на великих об'ємах текстових даних, щоб вивчати нюанси людського мовлення.

Окрім базового розуміння мови ChatGPT включає у свій функціонал розширені можливості, такі як навчання в контексті та підказки за ланцюгом думок, що критично відрізняє його від простіших моделей штучного інтелекту. Завдяки таким можливостям та високій продуктивності, ChatGPT різко набув популярності у всьому світі і знайшов своє місце у різних галузях людського життя [25].

Технологічні аспекти. Обробка Природної Мови (англ. Natural Language Processing) – це наука про можливість комп'ютерів аналізувати та обробляти дані природної мови. Звичні завдання, які вона в себе включає, полягають у перекладі, класифікації, генерації тексту та відповіді на питання. Швидкий розвиток цієї дисципліни почався з розповсюдженням доступу в інтернет. Враховуючи великі об'єми даних текстів, з 2018 року обробка цих текстів була основною метою мовних систем. Вони тренувались на текстових даних методиками самоконтрольованого навчання та напівсамоконтрольованого навчання. Найвідомішим представником є ChatGPT, який є генеративним попередньо-тренованим трансформатором [25].

Трансформери. Трансформери – це архітектура глибокого навчання, розроблена для обробки послідовних даних, таких, як текст. Ці моделі складаються, в основному, з кодера та декодера, що дозволяє ефективно обробляти мову [25]. Так як система не працює зі словами як такими, кодер трансформує слово у зрозуміле для програми абстрактне значення («токен»). Наступні кодери обробляють токен різними шляхами, так як значення слова у значній мірі залежить від його положення в реченні та у масиві речень (тобто, згідно контексту). На подальших ступенях кодування словам назначуються «токени» позиціонування та уваги до себе. Таким чином, наступний рівень, а саме декодер, отримує інформацію про слово у локальному та глобальному контексті. Декодер, у свою чергу, трансформує абстрактні «токени» у мову, зрозумілу для людини.

Генеративні попередньо-треновані трансформатори (GPT). GPT – це специфічний тип ВММ (Великої Мовної Моделі). За основу у ній взята архітектура Трансформерної моделі. Таким чином, її змогли навчити розуміти мову як таку, шляхом обробки великих об'ємів тексту. Перше попереднє тренування було без супервізора. На наступних етапах, коли модель вивчила загальні мовні патерни, задіяли

супервізорів, які коригували GPT, презентуючи йому приклади живих діалогів між людьми. Таким чином, GPT прогресував до можливості виконувати різні специфічні завдання без додаткових коригувань. Саме так у світ вийшла модель GPT-3, якій достатньо кількох прикладів для тонкого налаштування в ході розмови з ним. Це дозволяє моделі чітко розуміти контекстну інформацію, яку йому надає користувач і, відповідно до контексту, підтримувати розмову, пропонувати рішення крок-за-кроком та навіть обґрунтовувати чи пояснювати певні позиції [25].

Технології великих мовних моделей знайшли широке застосування в медицині. Із запровадженням електронних систем охорони здоров'я, значний час лікаря забирає документообіг, тому такі моделі будуть корисним інструментом у виділенні потрібної інформації з вільних нотаток лікаря, щоб потім використати їх у оформленні медичної документації [22, 25]. Також його можна застосовувати як проміжну ланку у спілкуванні лікар-пацієнт, оскільки мовні моделі можуть перефразувати план лікування та подібну медичну інформацію зрозумілими словами для пацієнта, незалежно від його статі, рівня освіти, віку та роду занять [22]. GPT зарекомендував себе як зручний інструмент у коморбідному та поліморбідному аналізі, та для полегшення виявлення небажаних взаємозв'язків між препаратами, які приймаються пацієнтом [22].

На жаль, враховуючи, який шлях проходять мовні моделі до стану, яким ми вже можемо користуватись, довгий час вони навчаються без супервізора. І у багатьох випадках навіть розробники уже не можуть чітко відповісти, яким чином мережа прийшла до того чи іншого висновку. У цьому і криється найбільша небезпека таких моделей штучного інтелекту – вони здатні «галюцинувати». Особливо це помітно у випадках, коли їх просять навести певні посилання на наукові статті, навести списки авторів, які своїми дослідженнями підтверджують ту чи іншу позицію в контексті, навести цитати науковців, які доказують ту чи іншу позицію [25]. У більшості випадків усі цитати та посилання були абсолютно видумані. Та чим точнішим та вузько спеціалізованішим був запит, тим вище зростала частота «галюцинацій» [25]. Попри економію часу, використовуючи мовні моделі у роботі з науковими статтями, завжди є ризик наткнутись на «галюцинації» [25].

У випадку задіювання великих мовних моделей у процес навчання студентів, також потрібен контроль за інформацією, яку студенти отримують від неї, оскільки вона може бути завідомо неправдивою. Також практикування комунікативних здібностей

із великою мовною моделлю ніколи не замінить комунікації з живим пацієнтом [25]. ВММ є корисним інструментом у підвищенні загальної медичної освіти населення, та ні в якому разі не може надавати пацієнту консультації з медичних питань, оскільки для цього потрібна очна консультація лікаря, і ніяка мовна модель цього не замінить [25].

Ще одне делікатне питання, яке турбує всіх, хто починає пізнавати будь-які види штучного інтелекту – це безпека персональних даних, яка повинна бути безумовно гарантована при роботі із штучним інтелектом.

Отже, великі мовні системи є багатообіцяючими інструментами, які в найближчому майбутньому зможуть змінити щоденну практику любого лікаря. Проте на даний момент вони потребують масивного калібрування, щоб пристосувати їх до кращого фільтрування інформації, яку вони пропонують кінцевому споживачу. Залишається відкритим питання «галюцинування» та безпеки персональних даних. Вони потребують людського супервізора у різних питаннях, від більш вузько-спеціалізованих до широкої, загально доступної інформації.

Також введення електронних систем охорони здоров'я робить можливе використання ШІ для заповнення документації цілком вірогідним. Проте дуже важливим є контроль записів, оскільки будь-яка помилка може призвести до незворотних наслідків. Відповідно, деякі моделі ЗНМ були запрограмовані на автоматичне знаходження уражень, сегментацію та нумерацію зубів, коронок, реставрацій, ендодонтично лікованих зубів та імплантатів. Комерційно наявні системи для таких цілей представлені такими варіантами: dentalXrai (Berlin, Germany), Denti.AI (Toronto, Canada) та Diagnocat (Tel Aviv, Israel) [16].

Штучний інтелект у стоматології

Пародонтологія. Захворювання пародонту є поширеними патологічними станами, які турбують мільйони людей по всьому світі і, якщо їх не лікувати, приводять до втрати зубів та низки інших ускладнень, які виникатимуть як наслідок [30]. Для лікування таких захворювань необхідний скрупульозний медичний огляд та точна діагностика. Мануальні методи обстеження, як зондування пародонтальних кишень, мають обмежену точність через індивідуальні особливості кожного окремого оператора. Зазвичай додатковими методами обстеження є рентгенографія та КПКТ, оцінка яких також у багатьох випадках залежить від досвіду оператора. Відповідно використання штучного інтелекту є цілком логічним кроком у розвитку, з бажанням підвищити якість діагности-

ки і лікування в цілому.

Оскільки процеси втрати кісткової тканини та інші запальні явища в людському організмі можуть займати тривалий час, якщо протікають у хронічній формі, а при фізичному огляді пацієнт проводить з лікарем всього кілька хвилин, можна припустити, що багато проявів можуть приховуватись від лікаря. У цьому питанні мають допомогти технології штучного інтелекту, який буде займатися аналізом та порівняннями даних обстеження пацієнта за тривалий час, щоб дати можливість лікарю об'єктивно оцінити ситуацію та розробити чіткий, ефективний та персоналізований план лікування у короткі терміни [1,31].

Дослідження з використання штучного інтелекту у пародонтології проводилися у різних напрямках та з різними цілями, проте це хороший початок для розвитку даного напрямку. У роботах наводяться приклади дослідження можливостей ЗНМ в оцінці панорамних рентгенограм у порівнянні з шістьма досвідченими стоматологами на предмет втрати кісткової тканини навколо зубів [3, 13, 14]. Точність моделі штучного інтелекту склала 83% проти 80%, які дали спеціалісти.

ЗНМ, треновані за допомогою методики Трансферного Навчання, тестувались для діагностики та прогнозування скомпрометованих зубів [9, 11, 27]. Після аналізу бази даних виявили, що точність даної моделі склала 81% для премолярів та 76,7% для моларів. Вірогідно, що зниження точності, в залежності від групи зубів, пов'язане зі складною просторовою структурою коренів, і на даному етапі розвитку ШІ, це завдання є надто складним і потребує доопрацювання.

Згідно з результатами певних досліджень, ШІ успішно справлявся з класифікацією агресивних та хронічних форм перебігу пародонтиту [11].

Проводилось також дослідження, де скористались різними моделями штучного інтелекту (Методом опорних векторів (Support Vector Machine), Деревом ухвалення рішень (Decision Tree) та Штучними нейронами (ШН)). У цьому дослідженні створили коди, що відповідали факторам ризику розвитку захворювань пародонту; дані, які стосувались пародонту; дані рентгенологічних обстежень та інше. Разом було створено 6 станів пародонту, які відповідали класифікації. DT та SVM системи продемонстрували виключну точність, яка становила 98%. Штучні нейрони у цьому дослідженні провалились із показником 46% [7].

Не зважаючи на слабку точність, яку штучні нейрони показали при класифікації захворювання на основі клінічних даних, вони добре вирішують задачі

класифікації хронічних та гострих форм пародонти-ту, роблячи висновок лише з аналізів периферійної крові. Показник його точності склав 90–98% [7].

Більшість дослідників сходяться у позиції, що дана технологія на даному етапі свого розвитку може виконувати лише допоміжну роль. Ймовірно, що є певний ступінь упередженості, як у дослідженнях, так і у самих інструментах. Складність певних систем або механізмів, їхня вартість, додаткове обладнання, яке використовується для проведення тренувань кожного окремого ШІ, повинне бути врахованим у результаті дослідження [2].

Отже, використання технологій штучного інтелекту у пародонтології може стати корисним інструментом як у практиці клінічного стоматолога, так і в практиці дослідників. Вчасна діагностика втрати кісткової тканини може бути критичним фактором у прийнятті подальших діагностичних та лікувальних рішень. Враховуючи це, подальші дослідження та вдосконалення наявних технологій є необхідними до того часу, як ці технології стануть частиною щоденної практики.

Ендодонтія. Ендодонтичне лікування, за своєю специфікою, є однією із складних до виконання та вимогливою до віддалених результатів маніпуляцій. Воно спрямоване на збереження зуба, що був пошкоджений внаслідок травми, інфікований внаслідок каріозного процесу та за інших причин. Ускладнення нелікованого карієсу викликає запальні процеси у пульповій камері та периапікальних тканинах, що у 90% випадків, відповідно, доводить до апікальної гранульоми, абсцесу або кісти [32]. Сучасні стандарти ендодонтичного лікування вимагають від лікаря не лише глибоких знань у анатомії системи кореневих каналів та алгоритму розвитку патологічних процесів, а й високої майстерності у виконанні дрібних маніпуляцій.

Прецизійне виконання ендодонтичного лікування має вирішальне значення в успішності самої процедури та у подальшому збереженні зуба і виконанні ним своїх безпосередніх функцій, без загрози для сусідніх структур та організму в цілому. За останні роки можливості діагностики патології системи кореневих каналів, обладнання для виконання маніпуляцій, асортимент інструментарію та опції проведення лікування драматично зросли, пропонуючи пацієнтам та лікарям більш прогнозований, точний та доказовий результат. Одним із шляхів розвитку стало використання технологій штучного інтелекту в даній галузі стоматології. ГН, ЗНМ та ШНМ широко використовуються у дослідницькій

діяльності та, навіть, комерційні зразки програмного забезпечення доступні для використання у ендодонтичній практиці.

Основними спрямуваннями даних технологій є просторове вивчення системи кореневих каналів, визначення параметрів робочої довжини, верифікація периапікальних уражень та вертикальних тріщин кореня та прогнозування успішності можливого повторного ендодонтичного лікування [3].

Ендодонтія є одною з дисциплін, у якій найчастіше використовувався ШІ, оскільки карієс та периапікальні зміни є найчастіше досліджуваними питаннями [4, 26]. ГН та ЗНМ стали найчастіше зустрічатись у дослідницьких роботах у сфері ендодонтії, завдяки їхній можливості до автоматичної сегментації зразків [10].

Однією з найновіших можливостей використання технологій штучного інтелекту та цифрових технологій у сфері ендодонтії є використання навігаційних систем клінічного призначення. Їхнє основне призначення – це допомога у верифікації склерозованих кореневих каналів та контроль за виконанням доступу до системи кореневих каналів [28].

Для аналізу форми та розташування дистального кореня нижніх молярів використовували системи ГН (AlexNet та GoogleNet). Обидва алгоритми виконували діагностичні завдання швидше та краще, ніж досвідчені лікарі-радіологи [10].

Периапікальні патології. Апікальний періодонтит – це найпоширеніша ендодонтична патологія, що присутня у 75% випадків реєстрації ділянок ураження кісток щелеп, видимих за результатами рентгенологічного обстеження. [10]. 3D-обстеженням все частіше віддають перевагу у діагностиці та прогнозуванні ендодонтичного лікування, так як 2D-зображення об'єкту може спотворювати та приховувати важливі дані [10]. Певний ряд досліджень показав, що використання технологій штучного інтелекту для діагностики периапікальних уражень за даними рентгенографії та КПКТ можуть бути на рівні, або ж і вище, ніж у спеціаліста з високим рівнем досвіду. Точність алгоритмів ШНМ, ЗНМ та ГН у діагностиці складала від 72% до 93% [10]. Це може надати можливість спеціалістам зекономити час на діагностику та планування втручань. Проте, на результативність ШІ може впливати близька присутність пародонтальної патології та анатомічні утвори [28].

Також у дослідженнях було доведено ефективність технологій ГН, яка дозволяє автоматизовано сегментувати входні дані, при цьому показник точності складає 0.93[11]. Наведено також приклад точ-

ного і специфічного результату сегментації КПКТ та ідентифікації периапікальних утворень [32].

Згідно з цими даними, можна припустити, що комбінація ШІ та даних КПКТ є ефективнішою, ніж використання ШІ та даних рентгенографії [28].

Вертикальні тріщини кореня (ВТК). Вертикальні тріщини кореня достатньо рідко зустрічаються у практиці. Зазвичай вони майже невидимі, з низьким рівнем симптоматики або ж взагалі без неї. Найчастіше ВТК зустрічаються у премолярах та молярах нижньої щелепи, які вже були проліковані ендодонтично [10].

Найчастіше ВТК ведуть до видалення зуба, або ж до процедур гемісекції та сепарації коренів. Вчасне діагностування та виконання відповідних маніпуляцій веде до успішного збереження зуба у п'ятирічній (94%) та десятирічній (64%) перспективі [10].

Було проведено низку досліджень з використанням МН та ЗНМ для діагностики ВТК. Результати використання були кращими у діагностиці тріщин, за даними КПКТ, для зубів, які не піддавались ендодонтичному лікуванню. Для зубів, які таки були ліковані ендодонтично, кращий результат був при застосуванні класичних рентген знімків [10]. Вірогідно ці результати пов'язані із артефактами зображення КПКТ, які виникають навколо контрастного пломбувального матеріалу. Точність діагностики з виконанням технологій штучного інтелекту складала від 73% до 96,6% відповідно [10]. У випадку ж тріщини кореня зі зміщенням та диспозицією, за даними КПКТ, результативність ШІ складала 96,9% – 100% [28]. При діагностиці ВТК, за даними панорамних рентгенографій, ефективність ШІ характеризувалась чутливістю 0.75 та точністю 0.93 [28,32].

Морфологія системи кореневих каналів. Системи кореневих каналів, навіть з доступними новітніми досягненнями візуалізації та технічної бази, залишаються складними для лікування об'єктами. Кожен окремий канал має свої індивідуальні особливості, які можуть суттєво вплинути на прогноз лікування в цілому. Кожен пропущений кореневий канал, який відрізняється від стандартної анатомії або не візуалізується при стандартному доступі до системи, може призвести до ускладнень в ході лікування або віддалених наслідків. Тому здатність ідентифікувати та провести адекватне лікування системи кореневих каналів та любых її варіацій є важливою складовою ендодонтичного лікування.

ЗНМ використовувались для категоризації даних КПКТ в ідентифікації варіацій будови системи кореневих каналів [14].

Для цих цілей досліджувалось використання технологій глибокого навчання у ідентифікації морфології системи кореневих каналів. Це особливо важливо для спеціалістів, у яких ще не достатньо клінічного досвіду для проведення успішного і прогнозованого лікування. У цьому питанні ШІ показав прекрасні результати. Досліджувались можливості ідентифікації кореневих каналів за даними КПКТ, прицілній рентгенограмі та панорамній рентгенограмі. Точність ШІ складала від 86,9% до 95,1% [10, 32].

Ефективність ШІ у пошуку другого мезіо-букального каналу верхніх молярів була досить високою (чутливість – 0.71, специфічність – 0.98, точність – 0.84). Ефективність була вищою у зразках, де пломбувальний матеріал у кореневих каналах був відсутній, ніж у каналах з присутнім пломбувальним матеріалом [28].

ШІ показав свою ефективність у ідентифікації наявності дистального каналу нижніх молярів С-подібної форми, базуючись на аналізі панорамних рентгенограм з точністю 95.1% [28].

Верифікація робочої довжини. Точне визначення робочої довжини є також одним з критичних моментів для успішності проведеного ендодонтичного лікування. Найточнішим, на даний момент, приладом для визначення робочої довжини є електронний апекс локатор. Використання ШНМ у питанні визначення робочої довжини кореневого каналу за допомогою даних рентгенографії показало високу результативність, точність якої складала 93%–96% [28].

В іншому дослідженні використовувався ШІ для визначення довжини кореневих каналів. Щоб визначити довжину кореневого каналу на рентгенологічних знімках за допомогою ШНМ були застосовані ендодонтичні файли. Заміри проводились за допомогою стереомікроскопа до видалення зуба та після видалення. Коректне визначення лікарем було зареєстровано у 76% випадків, тоді як ШІ справився з завданням із 96% точністю [3, 32].

Успішність повторного ендодонтичного лікування. Загальна успішність ендодонтичного лікування у стоматології складає 90%.

Було проведено дослідження, де використовувались технології штучного інтелекту для спроби передбачити можливості успішного чи невдалого ендодонтичного лікування. За основу було взято парадигму аргументації на основі минулих зафіксованих випадків, тобто система повинна була давати відповіді на питання, базуючись на основі опублікованих випадків. Проте основними проблемами стали доступність інформації, її структурованість та різні

підходи, що призвело до сильної гетерогенії у результатах [10]. Даний напрямок потребує подальшого удосконалення та більшої бази досліджень.

Також була спроба використання ШІ у питанні післяопераційної больової чутливості. На 95.6% ШІ міг точно передбачити можливість виникнення больового синдрому [28].

Проблемні питання

Для того, щоб зробити технології ШІ більш доступними та ефективними у сфері ендодонтичного лікування, потрібно вирішити ще певний ряд питань.

- Відсутність адаптованого комплексного системного забезпечення для планування ендодонтичного лікування на основі клінічних потреб та функціонування власне самої системи охорони здоров'я [28].

- Дефіцит моделей, які можна використовувати для прогнозування успішності лікування, та систем, які опираються не лише на дані обстежень, а й на стан пацієнта [28].

- Ідентифікація анатомічних утворів, які можуть ускладнювати процес обробки вхідних даних. Оскільки на даному етапі потрібно багато ручної роботи для підготовки даних, які вже можна внести в систему для аналізу [3,13].

- Навчання технологій ШІ на все більших зразках даних. Оскільки всі попередні моделі мали невелику кількість даних для тренувань, вони потребують постійного вдосконалення [28].

- Багато моделей ШІ були треновані на зразках досліджень високої якості, а в подальшому будуть змушені працювати з даними різної якості. Відповідно потребується більше тренувань, задля збереження того ж рівня ефективності, не зважаючи на рівень якості вхідних даних [28].

- Більшість стоматологів спеціалізуються у багатьох напрямках, і, відповідно, певною вимогою до комерційних проєктів на базі ШІ буде або цінова доступність або широкий спектр функцій [7].

- На даному етапі розвитку, моделі ШІ у питанні ідентифікації апікального звуження та визначення робочої довжини можуть бути лише асистентами для менш досвідчених лікарів [31].

Висновки

Штучний інтелект все більше входить у повсякденну роботу стоматологів, що потребує все ширшого ознайомлення з його можливостями в різних галузях стоматології.

ПОСИЛАННЯ

1. Schwendicke F., Samek W., Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *J Dent Res.* 2020 Jul; 99 (7): 769–774. doi: 10.1177/0022034520915714. Epub 2020, Apr 21. PMID: 32315260; PMCID: PMC7309354.
2. Ahmed N., Abbasi M.S., Zuberi F., Qamar W., Halim M.S.B., Maqsood A., Alam M.K. Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry-A Systematic Review. *Biomed Res Int.* 2021 Jun 22; 2021:9751564. doi: 10.1155/2021/9751564. PMID: 34258283; PMCID: PMC8245240.
3. Ossowska A., Kusiak A., Świetlik D. Artificial Intelligence in Dentistry-Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Mar 15; 19 (6): 3449. doi: 10.3390/ijerph19063449. PMID: 35329136; PMCID: PMC8950565.
4. Bernauer S.A., Zitzmann N.U., Joda T. The Use and Performance of Artificial Intelligence in Prosthodontics: A Systematic Review. *Sensors (Basel).* 2021, Oct 5; 21 (19): 6628. doi: 10.3390/s21196628. PMID: 34640948; PMCID: PMC8512216.
5. Revilla-León M., Gómez-Polo M., Vyas S., Barmak B.A., Galluci G.O., Att W., Krishnamurthy V.R. Artificial intelligence applications in implant dentistry: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2023 Feb; 129 (2): 293–300. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.05.008. Epub 2021, Jun 16. PMID: 34144789.
6. Liu J., Chen Y., Li S., Zhao Z., Wu Z. Machine learning in orthodontics: Challenges and perspectives. *Adv Clin Exp Med.* 2021, Oct; 30 (10): 1065–1074. doi: 10.17219/acem/138702. PMID: 34610222.
7. Machoy M.E., Szyszka-Sommerfeld L., Vegh A., Gedrange T., Woźniak K. The ways of using machine learning in dentistry. *Adv Clin Exp Med.* 2020 Mar; 29 (3): 375–384. doi: 10.17219/acem/115083. PMID: 32207586.
8. Subramanian A.K., Chen Y., Almalki A., Sivamurthy G., Kafle D. Cephalometric Analysis in Orthodontics Using Artificial Intelligence-A Comprehensive Review. *Biomed Res Int.* 2022, Jun 16; 2022:1880113. doi: 10.1155/2022/1880113. PMID: 35757486; PMCID: PMC9225851.
9. Hung K., Montalvo C., Tanaka R., Kawai T., Bornstein M.M. The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2020, Jan; 49 (1): 20190107. doi: 10.1259/dmfr.20190107. Epub 2019 Aug 14. PMID: 31386555; PMCID: PMC6957072.
10. Karobari M.I., Adil A.H., Basheer S.N., Murugesan S., Savadamoorthi K.S., Mustafa M., Abdulwahed A., Almokhatieb A.A. Evaluation of the Diagnostic and Prognostic Accuracy of Artificial Intelligence in Endodontic Dentistry: A Comprehensive

- Review of Literature. *Comput Math Methods Med.* 2023, Jan 31; 2023:7049360. doi: 10.1155/2023/7049360. PMID: 36761829; PMCID: PMC9904932.
11. Pethani F. Promises and perils of artificial intelligence in dentistry. *Aust Dent J.* 2021, Jun; 66 (2): 124–135. doi: 10.1111/adj.12812. Epub 2021, Jan, 17. PMID: 33340123.
 12. Siddiqui T.A., Sukhia R.H., Ghandhi D. Artificial intelligence in dentistry, orthodontics and Orthognathic surgery: A literature review. *J Pak Med Assoc.* 2022, Feb; 72 (Suppl. 1) (2): S91–S96. doi: 10.47391/JPMA.AKU-18. PMID: 35202378.
 13. Nguyen T.T., Larriv e N., Lee A., Bilaniuk O., Durand R. Use of Artificial Intelligence in Dentistry: Current Clinical Trends and Research Advances. *J Can Dent Assoc.* 2021, May; 87: I7. PMID: 34343070.
 14. Bonny T., Al Nassan W., Obaideen K., Al Mallahi M.N., Mohammad Y., El-Damanhoury H.M. Contemporary Role and Applications of Artificial Intelligence in Dentistry. *F1000Res.* 2023, Sep, 20; 12:1179. doi: 10.12688/f1000research.140204.1. PMID:37942018; PMCID: PMC10630586.
 15. Bichu Y.M., Hansa I., Bichu A.Y., Premjani P., Flores-Mir C., Vaid N.R. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. *Prog Orthod.* 2021, Jul 5; 22(1):18. doi: 10.1186/s40510-021-00361-9. PMID:34219198; PMCID: PMC8255249.
 16. Hung K.F., Yeung A.W.K., Bornstein M.M., Schwendicke F. Personalized dental medicine, artificial intelligence, and their relevance for dentomaxillofacial imaging. *Dentomaxillofac Radiol.* 2023, Jan 1; 52(1):20220335. doi:10.1259/dmfr.20220335. Epub 2022, Dec, 12. PMID: 36472627; PMCID: PMC9793453.
 17. Bianchi J., Mendonca G., Gillot M., Oh H., Park J., Turkestani N.A., Gurgel M., Cevidanés L. Three-dimensional digital applications for implant space planning in orthodontics: A narrative review. *J World Fed Orthod.* 2022, Dec; 11(6):207–215. doi: 10.1016/j.ejwf.2022.10.006. Epub 2022 Nov 15. PMID: 36400658; PMCID: PMC10214006.
 18. Hung K., Yeung A.W.K., Tanaka R., Bornstein M.M. Current Applications, Opportunities and Limitations of AI for 3D Imaging in Dental Research and Practice. *Int J Environ Res Public Health.* 2020, Jun, 19; 17(12):4424. doi: 10.3390/ijerph17124424. PMID: 32575560; PMCID: PMC7345758.
 19. Gili T., Di Carlo G., Capuani S., Auconi P., Caldarelli G., Polimeni A. Complexity and data mining in dental research: A network medicine perspective on interceptive orthodontics. *Orthod Craniofac Res.* 2021, Dec; 24 Suppl 2(Suppl 2):16–25. doi: 10.1111/ocr.12520. Epub 2021 Sep 14. PMID: 34519158; PMCID: PMC9292769.
 20. Bornes R.S., Montero J., Correia A.R.M., Rosa N.R.D.N. Use of bioinformatic strategies as a predictive tool in implant-supported oral rehabilitation: A scoping review. *J Prosthet Dent.* 2023, Feb; 129 (2): 322.e1–322.e8. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.12.011. Epub 2023 Jan 27. PMID: 36710172.
 21. Al Turkestani N., Bianchi J., Deleat-Besson R., Le C., Tengfei L., Prieto J.C., Gurgel M., Ruellas A.C.O., Massaro C., Aliaga Del Castillo A., Evangelista K., Yatabe M., Benavides E., Soki F., Zhang W., Najarian K., Gryak J., Styner M., Fillion-Robin J.C., Paniagua B., Soroushmehr R., Cevidanés L.H.S. Clinical decision support systems in orthodontics: A narrative review of data science approaches. *Orthod Craniofac Res.* 2021, Dec; 24 Suppl 2 (Suppl 2):26–36. doi: 10.1111/ocr.12492. Epub, 2021, May, 24. PMID: 33973362; PMCID: PMC8988880.
 22. Huang H., Zheng O., Wang D., Yin J., Wang Z., Ding S., Yin H., Xu C., Yang R., Zheng Q., Shi B. Chat GPT for shaping the future of dentistry: the potential of multi-modal large language model. *Int J Oral Sci.* 2023, Jul, 28; 15(1):29. doi: 10.1038/s41368-023-00239-y. PMID: 37507396; PMCID: PMC10382, 494.
 23. Wenzel A. Radiographic modalities for diagnosis of caries in a historical perspective: from film to machine-intelligence supported systems. *Dentomaxillofac Radiol.* 2021, Jul, 1; 50 (5):20210010. doi: 10.1259/dmfr.20210010. Epub, 2021, Mar, 4. PMID: 33661697; PMCID: PMC8231685.
 24. Minnema J., Ernst A., van Eijnatten M., Pauwels R., Forouzanfar T., Batenburg K.J., Wolff J. A review on the application of deep learning for CT reconstruction, bone segmentation and surgical planning in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol.* 2022, Sep, 1; 51 (7): 20210437. doi: 10.1259/dmfr.20210437. Epub 2022, May, 23. PMID: 35532946; PMCID: PMC9522976.
 25. Puladi B., Gsaxner C., Kleesiek J., Hölzle F., Röhrig R., Egger J. The impact and opportunities of large language models like ChatGPT in oral and maxillofacial surgery: a narrative review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2024, Jan; 53(1):78–88. doi: 10.1016/j.ijom.2023.09.005. Epub 2023 Oct 3. PMID: 37798200.
 26. Carrillo-Perez F., Pecho O.E., Morales J.C., Paravina R.D., Della Bona A., Ghinea R., Pulgar R., Pérez M.D.M., Herrera L.J. Applications of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review. *J Esthet Restor Dent.* 2022, Jan; 34 (1): 259–280. doi: 10.1111/jerd.12844. Epub 2021 Nov 29. PMID: 34842324. 34: Umer F, Adnan S, Lal A. Research and application of artificial intelligence in dentistry from lower-middle income countries - a scoping review. *BMC Oral Health.* 2024, Feb, 12; 24(1):220. doi: 10.1186/s12903-024-03970-y. PMID: 38347508; PMCID: PMC10860267.
 27. Carrillo-Perez F., Pecho O.E., Morales J.C., Paravina R.D., Della Bona A., Ghinea R., Pulgar R., Pérez M.D.M., Herrera L.J. Applications of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review. *J Esthet Restor Dent.* 2022, Jan; 34(1): 259–280. doi: 10.1111/jerd.12844. Epub 2021 Nov 29. PMID: 34842324.
 28. Goncharuk-Khomyn Myroslav, Igor Noenko, Alessandro Leite Cavalcanti, Özkan Adigüzel and Artem Dubnov. 2023. «Artificial Intelligence in Endodontics: Relevant Trends and Practical Perspectives». *Ukrainian Dental Journal* 2 (1): 96–101. <https://doi.org/10.56569/UDJ.2.1.2023.96-101>.
 29. Keskin C., Keleş A. Digital Applications in Endodontics. *J. Exp. Clin. Med.* May, 2021; 38(3s): 168–174.
 30. Ding H., Wu J., Zhao W., Matinlinna J.P., Burrow M.F. and Tsoi J.K.H. (2023) Artificial intelligence in dentistry – A review. *Front. Dent. Med* 4:1085251. doi: 10.3389/fdmed.2023.1085251.
 31. Thurzo A., Urbanová W., Novák B. et al. Where is the Artificial Intelligence Applied in Dentistry? Systematic Review and Literature Analysis. *Healthcare (Basel).* 2022; 10 (7):1269. Published 2022, Jul, 8. doi:10.3390/healthcare10071269.

32. Khanagar S.B., Alfadley A., Alfouzan K., Awawdeh M., Alaqla A., Jamleh A. Developments and Performance of Artificial Intelligence Models Designed for Application in Endodontics: A Systematic Review. *Diagnostics*. 2023; 13 (3):414. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13030414>.

Artificial intelligence in dentistry. Part one.

Makeev V., Shcherba P.

Summary. In recent years, dentistry has undergone a wave of transformations and technological advances, where artificial intelligence has become a driving force that is ready to revolutionize various aspects of oral care. As the world grapples with ever-increasing demand for efficient and personalized medical solutions, artificial intelligence presents itself as a promising ally in the quest to improve diagnostic accuracy, treatment planning and patient care in healthcare system, particularly in dentistry.

Purpose: to systematize and review the available data of research information for the period of 2020-2024 regarding the application of artificial intelligence technologies and their use in dental practice for various areas of dental activity.

Material and methods. A literature search was conducted on the PubMed service on February 26, 2024. The initial search was carried out using MeSH algorithms: (((«artificial intelligence»[MeSH Terms]) OR («artificial intelligence»[All Fields])) OR («ai»[All Fields])) AND («dentistry»[MeSH Terms]). Publications for the period 2020-2024 were considered. The initial search of the literature included 46 publications. After a detailed analysis of the selected publications, 26 publications, that met the needs, were left for further processing. Also added 6 publications manually, from other services, which disclosed the given topic. Accordingly, the total number of publications used for the analysis was 32 articles.

Research results. This research focuses on the growing intersection of artificial intelligence and dentistry with the goal of providing a comprehensive and reasonably up-to-date overview of the various applications, challenges, and opportunities that arise at the intersection of these fields. Through the selected articles, this study aims to explore the impact of artificial intelligence on diagnostic procedures, treatment methods and the overall principle of healthcare delivery using revolutionary technologies.

Conclusion. Artificial intelligence is increasingly included in the daily work of dentists, which requires a wider acquaintance with its capabilities in various fields of dentistry.

Key words: Artificial intelligence, dentistry, periodontology, endodontics.

Makeєв В.Ф. – доктор медичних наук, професор кафедри ортопедичної стоматології Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького. E-mail: prof.makeyev@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4841-8441>

Щерба П.П. – лікар-стоматолог. Тел.: +380638695867 E-mail: petro1shcherba57@gmail.com

Стаття: надійшла до редакції 15.05.2024р.-прийнята до друку 12.06.2024р.



«ВИДАВНИЧИЙ БУДИНОК ЕКСПЕРТ» у співпраці з Науковою установою «Науково-дослідний центр сталого розвитку» надає послуги з реєстрації авторських прав на твір та отримання Державного Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Авторські свідоцтва можуть бути отримані для наукових статей, монографій, тез конференцій, методичних та інших наукових матеріалів, які опубліковані у будь-якому виданні або готуються до публікації.

Наявність авторських свідоцтв у викладачів закладів вищої освіти передбачена пп.2 п.38 Постанови КМУ «HYPERLINK «<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1187-2015-%D0%BF#Text>»Про затвердження ліцензійних умов провадження освітньої діяльності» № 1187 від 30 грудня 2015 року.

Для отримання Державного Свідоцтва про реєстрацію авторських прав на твір автору необхідно надіслати на e-mail: HYPERLINK «<mailto:info@csr.com.ua>» info@csr.com.ua статтю/науковий матеріал у форматі doc.(docx.) або pdf або гіпер-посилання на статтю/науковий матеріал.

Детальна інформація представлена за посиланням:

<https://www.csr.com.ua/copyright>