

Макеєв В.Ф., Щерба П.П.

## Штучний інтелект у стоматології. Частина 2.

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

**Актуальність.** Дане дослідження з опрацювання джерел науково-медичної інформації щодо ролі та значення штучного інтелекту в галузі «стоматологія» є продовженням попереднього дослідження, яке викладено у публікації [1] і стосується таких підгалузей спеціальності «стоматологія», як «ортопедична стоматологія», «ортодонція», «імплантологія» та «рентгенологія».

**Мета:** систематизувати та оглянути доступні дані науково-дослідної інформації за період 2020-2024 років щодо застосування технологій штучного інтелекту за фахом «стоматологія», зокрема в таких напрямках як «ортопедична стоматологія», «ортодонція», «імплантологія» та «рентгенологія» та можливості ШІ у практичній діяльності.

**Матеріали та 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 роки. Первинний пошук літератури склав 46 публікацій. Після детального аналізу відібраних публікацій для подальшого опрацювання залишено 26 публікацій, які максимально відповідали потребам. Також додано 6 публікацій вручну, з інших сервісів, які розкривали поставлену тематику. Відповідно загальна кількість публікацій, яка використовувалась для аналізу, склала 32 статті. З цього переліку статей відібрано 22 публікації які відповідали темі даного дослідження.

**Результати дослідження.** Дане дослідження присвячене зростальному 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.

**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, ортопедична стоматологія, імплантологія, ортодонція, рентгенологія.

### Результати дослідження

#### *Ортопедична стоматологія.*

Технології штучного інтелекту революціонізують сферу протезування, пропонуючи інноваційні рішення для планування лікування, діагностики та прогностичності. Алгоритми штучного інтелекту, включаючи машинне навчання, глибоке навчання та нейронні мережі, ви-

користовуються для підвищення якості прийняття клінічних рішень та підвищення точності у виборі, виготовленні та інтеграції ортопедичних конструкцій у процесах реабілітації пацієнтів. Ряд досліджень показав позитивні результати в інтеграції технологій штучного інтелекту у питанні індивідуалізованого планування лікування [2,3].

Проте існує потреба у подальшому вдосконаленні даних технологій, зокрема стандартизації методології дослідження та відтворюваності результатів, які пропонує штучний інтелект; однак, є потреба у великих базах даних для оптимальної калібрації алгоритмів штучного інтелекту задля подальшого прогресу в індивідуалізації підходів у протезуванні [2]. Оскільки, ортопедична стоматологія нерозривно пов'язана з процесами зуботехнічної лабораторії, у цьому розгляді також буде розглянуто застосування штучного інтелекту у цьому напрямку.

Ортопедична стоматологія, сама по собі, є складною дисципліною із великою різноманітністю факторів які беруться до уваги. Відповідно і публікацій, які досліджують використання штучного інтелекту в даній галузі стоматології, є достатньо обмежена кількість[4].

Успішне ортопедичне лікування потребує дотримання синоптичної концепції лікування із точним попереднім плануванням та чіткою реалізацією, включаючи процеси зуботехнічної лабораторії[4]. Відновлення функції та естетики зубного ряду, який є складником багатфункціональної зубо-щелепної системи, потребує від лікаря-ортопеда знань в інших, суміжних дисциплінах, для вірного прийняття та реалізації рішень[4]. Тому використання технологій штучного інтелекту, які пристосовані працювати з різними факторами, в галузі ортопедичної стоматології є цікавою та багатообіцяльною темою[4].

На цей момент, досліджуються моделі штучного інтелекту пристосовані для рутинного приймання лікаря-ортопеда, наприклад, ідентифікація каріозних уражень за даними рентгенографії та модель, що з високою точністю може передбачити ризик розгерметизації CAD-CAM реставрацій[4]. Є також модель, що може допомагати студентам, або лікарям-початківцям, підібрати відповідну конструкцію знімного протеза[4].

Взагалі, можливостей до розвитку ШІ в галузі ортопедичної стоматології є безліч, наприклад, моделювання оклюзійної поверхні коронок відповідно до наявних, та специфічної оклюзійної карти, автоматичний дизайн повних та часткових знімних конструкцій, автоматичний дизайн профілю прорізування коронок на імплантах тощо[4].

Серед інших варіантів застосування технологій ШІ в ортопедичній стоматології є визначення краю препарування, ідентифікація та класифікація імплантів[5], оцінка препарування зубів, оцінка визначення центрального співвідношення щелеп[6].

Алгоритм дерева прийняття рішень (decision tree), що був натренований на 3559 зразках, перевищив у результативності двох стоматологів-ортопедів

у питанні видалення/збереження зуба та чи підлягає певний зуб ендодонтичному, чи реставраційному лікуванню. Модель була більш консервативна ніж лікарі, проте у своїх рішеннях вона опиралась на 35 біологічних показників, у той час, як лікар брав до уваги фінансові, поведінкові та особистісні фактори пацієнта у виборі оптимальної тактики[2].

Підбір відтінку зуба теж тестували на моделі машинного навчання, що продемонструвало вищу точність у порівнянні з традиційними методами підбору кольору. Проте результати дослідження залишаються суб'єктивними, оскільки результат не піддавався контролю спектрофотометрії[2].

У питанні підбору відтінку також змоделивали модель BPNN (backpropagation neural network). Суть цієї моделі полягає у тому, що вона може аналізувати результат своєї помилки й повторювати аналіз вхідних даних враховуючи свої попередні помилки. Проте дана модель показала низьку точність та нестабільний результат[7].

Надалі, цю модель вдосконалили, доповнивши її моделлю GA (Genetic Algorithm). Дана комбінація підвищила точність та зробила результат моделі повторюваним. Проте залишилась проблема з низьким рівнем конвергенції й відповідно низькою результативністю відносно нових зразків даних[7].

Тривалість служби протезних конструкцій є обмеженим. Також цей фактор може залежати від матеріалу, з якого виконана ортопедична конструкція, та інших показників відповідної клінічної ситуації. Було проведено моделювання НМ (нейронної мережі) яка б підбирала оптимальний варіант матеріалу для виготовлення ортопедичної конструкції для кожної окремої клінічної ситуації. Для цього було створено мультишарову модель НМ яка крім шарів прийняття рішень використовувала дані від експертної оцінки вхідних даних. Розробники надали інформацію що дана система може адаптуватись до нових клінічних ситуацій та може вдало підбирати матеріал, для майбутніх ортопедичних конструкцій, передбачаючи приблизний термін експлуатації. Проте технологія ще не вийшла на рівень клінічних випробувань, тому результативність та ефективність даної моделі залишається відкритим питанням[7].

Для покращення комунікації між лікарем та пацієнтом у питанні зовнішнього вигляду після ортопедичного лікування були розроблені моделі ШІ які працюють з даними сканування обличчя.

Модель автоматично розпізнає форму обличчя, особливості будови та може приблизно змоделивати майбутній вигляд після проведення всіх планованих втручань, враховуючи не лише естетичну зону по-

смішки, а й естетичну хірургію (якщо дані речі плануються у комплексній естетичній реабілітації).

Проте дана технологія служить лише інструментом комунікації, оскільки опрацьовує лише морфологію сканованої поверхні, не враховуючи об'ємів кісткової тканини та мімічних особливостей у динаміці[8].

Також, у більш концентрованому варіанті, компанія 3Shape пропонує своє програмне забезпечення для попереднього моделювання лікування пацієнта. 3Shape Design Studio та 3Shape Implant Studio може використовуватись як в умовах стоматологічного кабінету, так і в умовах зуботехнічної лабораторії.

Технології штучного інтелекту вже вмонтовані у робочу оболонку програмного забезпечення та автоматично пропонує створення дизайну чи одиничних реставрацій, чи естетичної зони, чи автоматичного вирівнювання зубів та постановки імплантів, з повною свободою подальшої мануальної корекції даних відповідно до особливостей клінічної ситуації[9].

**CAD-CAM (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing).** Технології CAD-CAM зробили багато процесів виготовлення ортопедичних конструкцій більш точними та менш залежними від людського фактора [5].

CAD-CAM реставрації, узагальнено, виконуються за допомогою сенсорів (інтраоральних, екстраоральних сканерів), програмного забезпечення для обробки інформації та приладів для виготовлення, які забезпечують виконання реставрацій (3D друк та фрезерування).

Зуботехнічні лабораторії які орієнтуються на цифровий робочий простір давно перетворились у комп'ютеризовані центри де технології програмного забезпечення в комбінації з вмонтованими в них технологіями штучного інтелекту, дають можливість виконувати роботу точніше, ефективніше та економлячи людський ресурс[5].

ЗНМ (Згорткова Нейронна Мережа) використовувалась з метою передбачити можливість розгерметизації реставрації за допомогою зображень стереолітографічних моделей з 15 клінічних випадків.

Модель показала точність у 0.97. Хоча вона і могла точно передбачити можливість розгерметизації, проте неспроможна вказати на фактори які до цього призводять[2].

Все частіше використовуються можливості 3D друку у стоматологічній практиці. Ця технологія має широкий спектр застосувань (хірургічні шаблони, шаблони для позиціонування брекетів, тимчасові реставрації, каркаси часткових знімних протезів).

Використання машинного навчання дало змогу передбачити можливі деформації кінцевих продуктів

друку, враховуючи деформації попередніх результатів друку. Це дає змогу надалі ефективніше використовувати матеріал для друку та час витрачений на друк[2]. Також алгоритми автоматичної сегментації даних інтраорального та екстраорального сканування звільняють оператора від трудомістких процесів, даючи можливість зосередитись на безпосередньому моделюванні[8].

**Ортодонція.** Основною ціллю ортодонтичного лікування є відновлення індивідуальних параметрів функціональної оклюзії та вдосконалення естетичних показників обличчя у пацієнтів з порушеннями оклюзії. Порушення оклюзії це проблема з якою стикаються близько 56% населення у світі[10].

Діагностика порушень оклюзії проводиться за допомогою точних вимірів відстаней, площин та кутів між орієнтирними точками на твердих та м'яких структурах, використовуючи телерентгенографію та КПКТ (конусно-променевої комп'ютерної томографії).

Враховуючи кращу роздільну здатність та можливість тривимірного контролю, КПКТ зарекомендував себе як найбільш точний інструмент для цих завдань. Проте, точність в ідентифікації орієнтирних точок може варіюватись залежно від досвіду спеціаліста, якості обстеження та методу діагностики, вибраного спеціалістом. Проте процедури аналізу є дуже трудомісткими.

Як висновок, у цій галузі стоматології, технології ШІ знайшли своє застосування.

Перед технологіями ШІ ставляться 4 основні завдання: класифікація, виявлення залежностей, детекція та сегментація[10]. Порівнюючи з традиційними підходами, ШІ може допомогти зі спрощенням деяких процедур.

Сфери застосування ШІ в галузі ортодонції включають верифікація орієнтирних точок, аналіз обличчя, системи допомоги у прийнятті рішень про видалення зубів та потреби ортодонтичного лікування, визначення кісткового віку, сегментації даних КПКТ, сегментації нижньої щелепи та прогнозуванні ортогнатичних хірургічних втручань[11].

Поряд з ендодонцією, ортодонція стала однією з дисциплін де найчастіше тестувались можливості ШІ[12].

**Орієнтирні точки.** Складнощі у традиційному цефалометричному аналізі, що проводиться на 2D даних обстеження полягають у коефіцієнті збільшення зображення, перекриття анатомічних структур, неправильному напрямку кута рентгену та позиції пацієнта[8].

Дослідження спрямоване на верифікацію dens

odontoides другого шийного хребця, що виконує роль орієнтира для проведення середньосагітальної площини. Проте похибка в середньому становила 3.15 мм[10].

У наступному дослідженні процес автоматичної верифікації 14 орієнтирних точок зміг досягти похибки менше 3 мм у 63.5% точок. Проте для досягнення подібних результатів із дослідження були виключені гострі скелетні деформації та зразки даних з переломами[10]. Додатково були проведені подібні дослідження з більш досконалішими моделями, які при верифікації 18 орієнтирних точок, змогли досягти меншої похибки, яка становила 2.51 мм[10].

З поступовим застосуванням систем на основі ЗНМ (згорткових нейронних мереж) точність почала зростати. Система YOLO v.3 змогла зменшити похибку до менше ніж 0.9 мм. Також, враховуючи особливості системи, вона змогла верифікувати точки на м'яких тканинах, щоб запропонувати приклади для оцінки лицевого профілю та на результат не впливала якість зображення, стать, скелетна класифікація чи артефакти від металевих об'єктів[10]. Подібні дані отримали в іншому дослідженні, використовуючи програмне забезпечення ACDC[11]. І також за допомогою програмного забезпечення WebCeph було досягнуто такого результату [13].

Інше дослідження подало результати про автоматичну верифікацію орієнтирних точок за допомогою ЗНМ на латеральних ТРГ та КПКТ, де рівень точності складав 88.43% та 80.45 відповідно. Проте зазначило про похибку в приблизно у 2 мм[14], а дослідження, що використовувало алгоритм U-Net, показало 92% точності, рапортуючи що результати були близькі до результатів, даних експертами[14]. Також були подані результати 87.6% точності в автоматичній верифікації орієнтирних точок[9].

Виходячи з гетерогенії результатів подібних досліджень, вважалось, що відхилення менше, ніж 2 мм є позитивним показником[15].

**Скелетна класифікація.** Попри оклюзію, положення нижньої щелепи щодо черепа є теж важливим показником для ортодонтичного аналізу. Традиційна скелетна класифікація проводиться за допомогою замірів лінійних та ангулярних змінних, використовуючи краніо-максиллярні та мандибулярні орієнтирні точки.

Проте, положення нижньої щелепи є дуже варіабельним показником, оскільки її положення може залежати й від оклюзії й від стану скронево-нижньощелепного суглоба, в той час, як краніо-максиллярні точки є стабільними величинами. Використання моделей ШНМ для передбачення положень манди-

булярних орієнтирів, використовуючи краніо-максиллярні точки, дало задовільні результати для 2 та 3 класу, та незадовільні для 1 класу[10].

Була спроба передбачити результат лікування пацієнтів з 2 та 3 класом порушення прикусу. ШІ міг проаналізувати взаємозв'язок між розвитковими аномаліями у період краніофасіального росту та передбачити реактивні зони які можна було використати для терапевтичного запобігання розвитку порушень прикусу[16].

Проводилось також дослідження питання взаємозалежності між орієнтирними точками та ортодонтичним діагнозом. 120 зразків опрацьовано системою ШІ та 3 лікарями. Індекс погодження варіював від посереднього до майже ідеального, та співвідношення з рішеннями спеціалістів було майже рівним[7].

**Системи допомоги у прийнятті рішень.** Системи допомоги прийняття рішень можуть стати потужним інструментом у роботі лікаря-ортодонта, проте дані системи потребують вдосконалення та розуміння кроків які вона проходить у пошуку правильного рішення[17]. Перші системи допомоги у прийнятті рішень працювали за алгоритмом «та якщо». Суттєвим недоліком даних систем була потреба у постійному оновленні бази даних, та усуненню конфліктних шарів[18].

Для допомоги спеціалістам у плануванні ортодонтичного лікування є розроблені спеціальні індекси – ITON (Index of Orthodontic Treatment Need) та Dental Aesthetic Index (DAI). Орієнтуючись на показники цих індексів розроблялись системи ШІ які допомагали спеціалістам проводити та аналізувати клінічні ситуації[10]. За таким підходом була розроблена тестова модель з даними 1000 учасників. 80% даних були використані як тренувальний об'єм, і отриману модель застосували на решті 20% даних. У висновку, специфічність ШІ склала 100%, чутливість 95% та точність 96%. Результати підтвердили 2 ортодонта з більш ніж 5 річним досвідом[14].

Також технології ШІ використовувались для аналізу фотографій пацієнтів, де зона посмішки була наділена пріоритетом важливості. Фотографії використовувались як контрольні, перед та після ортодонтичного лікування. ШІ показав 97.2% ефективності у передбаченні потреби в ортодонтичному лікуванні за контрольними та фотографіями перед проведенням лікування, та 93.4% у верифікації результату ортодонтичного лікування[14,18].

Важливим аспектом у плануванні ортодонтичного лікування є визначення кісткового віку. Методики машинного навчання (МН) показали 90% результат у точності та специфічності для діагностики

вертикального та сагітального кісткового віку[10,18]. Для нівелювання девіації показників, враховуючи перехід між стадіями розвитку кісткової тканини, використовувався модифікатор класифікації, що зміг залишити показник точності в межах 90.42%[10].

**Видалення за ортодонтичними показами та ортогнатична хірургія.** Часом, при плануванні ортодонтичного лікування, є потреба у видаленні певних зубів. Завжди, перед незворотними процедурами, лікарі прискіпливо аналізують кожну окрему ситуацію, щоб не допустити ускладнень і рішення про видалення було раціональним.

Для цього були протестовані системи ШІ на базі ШНМ (штучних нейронних мереж). Дослідження показали, що точність ШІ досягла 94% погодження зі стоматологами[18]. Проте дані системи орієнтувались лише на орієнтирні точки, отримані з даних ТРГ та КПКТ. Відповідно, в клінічній ситуації, враховуючи стан сусідніх зубів і ситуації в цілому, дані системи повинні контролюватись виключно спеціалістом[10]. Інше ж дослідження наводить показник точності 90.4% у питанні «видаляти, чи не видаляти»[7].

Цікавим спостереженням є те, що ШІ був більш успішним у питанні «видаляти, чи не видаляти», ніж у специфічності яку саме комбінацію видалення варто провести для досягнення оптимального результату[2].

Також проводилось дослідження на групі пацієнтів віком 11-15 років використовуючи ШНМ для визначення потреби у видаленні. ШНМ, що використовувалось у цьому дослідженні дало показник у 80% точності[14].

Дослідження, яке включало 840 латеральних та фронтальних ТРГ показало високий результат точності щодо показів для ортогнатичної хірургії, який склав 95.4%[14]. Інше дослідження засвідчило подібний результат у використанні ШНМ, точність якого склала 96%[18].

Також була запропонована модель ЗНМ щодо аналізу симетрії обличчя до та після ортогнатичної хірургії за допомогою КПКТ з точністю склала 90%[13].

**Обмеження.** Системи ШІ, що використовуються в ортодонції повинні включати скелетні характеристики, які змінюються з часом, та мати вибудовану залежність між механічними властивостями та комплексною системою зубів, кісток, м'язів та прилеглими структурами, щоб вибудувати загальну фізіологічну структуру[19].

Системи ШІ та цифрового робочого протоколу дозволяють досягнути передбачуваних результатів лікування, працюючи в тандемі з лікарями інших спеціальностей. Вже був продемонстрований мультидисциплінарний підхід, який включав ортодон-

тичний, імплантологічний та ортопедичний етапи. З таким підходом, лікування можна проводити ефективніше, прогнозованіше та індивідуальніше для кожного пацієнта[20].

Також, цифрове робоче поле підсилене технологіями ШІ, дозволяє знизити рівень людської помилки та неточності у виготовленні ортодонтичних конструкцій, допомоги у виготовленні позиціонерів для брекет-систем та контролю за процесом лікування шляхом елайнерів[5].

Враховуючи розбіжність між мануальним та автоматичним розташуванням орієнтирних точок (хоч і ШІ показує високу ефективність), однак потребує постійного супервізійного контролю, та наявність похибок робить їх недостатніми для клінічного використання[15]. Тому на цей момент, алгоритми ШІ можуть застосовуватись лише для попереднього виділення зони інтересу, з подальшим мануальним виділенням орієнтирної точки[8].

Запропоноване рішення для автоматичної верифікації краніо-фаціальних деформацій, хоч і показало високоточний результат у 93.42% чутливості та 99.97% специфічності, проте має такі недоліки як мала вибірка тренувальної бази даних, аналізування псевдо 3D даних замість повнорозмірних даних та відсутність популяційної різноманітності[8].

## Імплантологія

**Періімплантит.** Була запропонована модель на базі ЗНМ (Згорткових Нейронних Мереж) для автоматичного виявлення періімплантитної втраченої кісткової тканини за даними рентгенографії. Модуль справився як і два загальних стоматолога, проте уступила одному вузькоспеціалізованому лікарю[13]. Також модель на основі ЗНМ була використана для виявлення вертикальних або горизонтальних тріщин імплантів за даними прицільних або панорамних рентгенівських знімків. Дана модель показала AUC (Area Under the Curve) у 0.90-0.98 для завдання ідентифікування, та 0.75-0.87 для завдання класифікації. Вищі показники були отримані при аналізі даних прицільної рентгенографії[13].

Варто зазначити, дані моделі ШІ спроектовані лише для фіксації стану, оскільки не брались до уваги стани, які могли впливати на локальні імунні відповіді організму[3].

**Визначення типу будови кісткової тканини.** Було запропоноване клінічне дослідження у якому ЗНМ (Згорткові Нейронні Мережі) використовувались для вимірювання щільності альвеолярної кісткової тканини за даними КПКТ, що пропонувала достатньо точну оцінку[6].

**Визначення типу імпланту за даними рентгенографії.** Здебільшого для визначення типу імпланту, використовуються дані 2D рентгенографії. Для таких цілей були розроблені моделі ЗНМ (згорткових нейронних мереж). Враховуючи значний вибір систем імплантів на ринку є досить складним завданням розробити систему яка буде ідентифікувати їх всі. Проте, проведені дослідження, навіть концентруючись на невеликій кількості зразків імплантів показали точність систем від 93.8% до 98%[21]. У майбутньому подібні системи зможуть допомогти лікарям-початківцям та іншим лікарям в ідентифікації систем імплантів.

**Мультидисциплінарний підхід.** Багато людей страждають від втрати зубів, що своєю чергою тягне за собою порушення функції всієї зубощелепної системи. Враховуючи дану проблему існує можливість використовувати одночасне цифрове планування ортодонтичного та ортопедичного лікування комплексних випадків із застосуванням імплантації. У цьому напрямку дуже допомагають системи ІІІ для ортодонтичного напрямку для моделювання майбутнього лікування у цифрову середовищі (Archform та ClinCheck). З боку ортопедичної стоматології та імплантології, програмне забезпечення (3Shape, Implant Studio, Blue Sky Plan) для цифрового протоколу уже має включені певні системи ІІІ що можуть асистувати у виборі системи імпланту та його позиції, та плануванню подальшої ортопедичної конструкції[20].

Одним із можливих прикладів мультидисциплінарного підходу є цифровий протокол, у якому можна змоделювати позицію імпланту, вигляд та функцію ортопедичної конструкції за допомогою вбудованих алгоритмів ІІІ у CAD-CAM програмному забезпеченні та за допомогою технологій 3D друку шаблонів та роботизованих систем встановлення імплантів відтворити це у реальності[5].

Цікавим варіантом мультидисциплінарного підходу є дослідження в ході якого використали алгоритм машинного навчання для імунної деконволюції. У ході даного дослідження дійшли висновку, що періімплантне імунне мікросередовище по своєму формує мікробну композицію навколо і відповідно впливає на шлях загоєння[3].

**Можлива успішність імплантації.** Враховуючи варіативність методик проведення імплантації, побудувати систему ІІІ, яка може дати прогноз, лише на даних рентгенографії є складним і малоефективним процесом. Відповідно, подібні моделі проєктуються на основі кластеризації даних та дослідженні структурних властивостей системи даних,

що породжуються складними зв'язками демографічних, графічних та клінічних даних[21].

Більшість таких систем включають демографічні дані, фізичний та інтраоральний стан, дані про стиль життя, анатомічні особливості, ділянка імплантації, постановка імпланту з/без кісткової пластики, та об'єм кісткової тканини навколо імпланту[21].

Проте ці ж дослідження не включали такі аспекти, як тип імпланту, визначення «успішної» імплантації, ортопедичної частини конструкції, генетичної, імунологічної або мікробіологічної змінної, які своєю чергою могли мати вплив на результат[21].

Були проведені дослідження оптимізації дизайну імпланту за допомогою FEA (Finite Element Analysis, або Метод Скінчених Елементів). у даному дослідженні замість FEA використовувався ІІІ алгоритм для обчислення можливого стресу в ділянці імплант-кістка враховуючи такі змінні як довжина імпланту, довжина різьби та крок різьби. ІІІ алгоритм підбирав оптимальну конфігурацію імпланту і в результаті дав на 36.6% менше стресу у порівнянні з FEA алгоритмом[21].

## Висновки

- ІІІ моделі мають потенціал у визначенні типу імплантів, прогнозувати успішність імплантації опираючись на фактори ризику. Проте дані функції досі розвиваються і повинні пройти ще довгий шлях до того як можуть бути використані для клінічної практики[21].

- Моделі ІІІ спрямовані на визначення типу імпланту, базуючись на даних рентгенографії є найбільш розвинутими на цей момент і показують точність від 93.8% до 98%[21].

- Моделі ІІІ для діагностики остеопору та прогнозування успішності остеоінтеграції варіювали з точністю від 62.4% до 80.5%[14].

- Моделі ІІІ, завданням яких була оптимізація конфігурації імпланту для мінімізування стресу поверхні кістка-імплант, справились із поставленим завданням, дозволяючи зменшити стрес поверхні на 36.6%[21].

- Програмне забезпечення для CAD-CAM за допомогою ІІІ може автоматично пропонувати оптимальні конфігурації імплантів, проте, це все одно потребує ручного калібрування[22].

Подальші дослідження в даному напрямку дадуть можливість вдосконалити методики використання ІІІ у напрямку імплантології та підвищити їхню ефективність у щоденній клінічній практиці.

**Рентгенологія.** До 2009 року основним спрямуванням проєктування систем штучного інтелекту для

аналізу 2D зображень. Проте вже з 2009 все більша частка систем ШІ була розроблена саме для аналізу даних КПКТ[15].

Радіологія, як дисципліна, мала можливість отримати безперешкодний доступ до використання технологій штучного інтелекту через те, що за своєю суттю має справу із результатами досліджень які зразу закодовані у цифровому полі. Це робить дані максимально зручними у перетворенні в робоче поле штучного інтелекту[15]. Згорткові нейронні мережі (ЗНМ) є основним робочим інструментом штучного інтелекту[4] який дозволяє йому навчатися та приймати рішення, відштовхуючись від вивчених патернів. Як і лікар-радіолог, тренований на постійній оцінці даних обстеження, так і ШІ постійно повторює цей процес. Перевагою ШІ в даному питанні є його можливість швидко оперувати великими кількостями даних і, відповідно, швидше вдосконалюватись[15]. Уже існує низка досліджень які підтверджують ефективність діагностичних моделей ШІ у верифікації легеневих вузликів, поліпів прямої кишки, аневризми головного мозку, раку простати, кальцифікації коронарних артерій, диференціації шкірних уражень та, навіть, поділу легеневих вузликів на доброякісні та злоякісні[15].

Як уже згадувалось у попередніх розділах даної статті, технології штучного інтелекту у стоматології, а саме в аналізі даних рентгенографії та КПКТ, застосовуються у багатьох напрямках.

Оцінка системи кореневих каналів, оцінка кісткової тканини навколо зубів, верифікація та локалізація орієнтирних точок для ортодонції, допомога у визначенні системи імплантів[4] та оцінка періімплантиту.

На даному етапі можна виділити 4 основні напрямки за якими розвивається ШІ в радіології. А саме: автоматична локалізація орієнтирних точок, діагностика остеопору, класифікація та сегментація щелепно-лицевих пухлин/новоутворів та ідентифікація періодонтальних/періапикальних змін[15].

**Автоматизація локалізації орієнтирних точок.** Мануальна локалізація та верифікація орієнтирних точок є трудомістким процесом. Закономірно, ці процеси мав би полегшити ШІ. Проте, використання ШІ в цьому випадку, вимагає супервізійного контролю. Як уже було розглянуто у розділі «ортодонція», при такій гетерогенії результатів, похибку менше, ніж 2 мм вважали позитивним результатом[15].

**Діагностика остеопору.** Такі діагнози як неуточнене порушення щільності кісткової тканини та остеопороз є частими знахідками на рентгенографії

або КПКТ.

Дані захворювання можуть згубно впливати на проведення лікування, наприклад крайова резорбція кісткової тканини навколо імпланта. Відповідно, є спроектовані моделі ШІ, які опрацьовували ортопантомограми, опираючись на редукцію ширини кортикальної пластинки нижньої щелепи та ерозії кортикальної оболонки, успішність моделі в діагностиці склала 95%. Це може свідчити про її подальше застосування в клінічній практиці[15].

**Класифікація та сегментація щелепно-лицевих пухлин та новоутворів.** Ідентифікація та сегментація пухлин та новоутворів щелепи є непростим завданням для досвідчених лікарів-радіологів. Вони можуть у багатьох випадках давати лише нариси на діагноз та скеровувати пацієнта на біопсію та ніші обстеження задля уточнення діагнозу.

Була запропонована модель ШІ яка за основу брала асиметричний аналіз для автоматичної сегментації радикулярних кіст, фолікулярних кіст та кератокіст[15]. Інші подібні моделі були запропоновані іншими авторами й більшість рапортували про чутливість від 80% та специфічність 97,2%[13]. Наступним кроком було використання наявного програмного забезпечення (iPlan, Brainlab AG, Фельдкірхен, Німеччина) для автоматичної сегментації кіст та вимірювання їхнього об'єму[15].

Технічно цей процес проходить у 4 стадії: локалізація ураження, сегментація, виділення особливостей текстури та подальша класифікація[15].

**Ідентифікація періодонтальних/періапикальних змін.** Дані позиції, та зокрема їх застосування у стоматологічній практиці були детальніше розглянуті у 1 частині цієї статті у розділах Ендодонція та Пародонтологія. Існують моделі ШІ які дозволяють автоматично виявити втрату кісткової тканини та визначити ступінь втрати кісткової тканини.

Також існують моделі для прогнозування виживання скомпрометованих зубів, враховуючи ступінь втрати кісткової тканини[4]. Також запропоновані моделі які автоматично локалізують періапикальні ураження та можуть диференціювати кісти від гранульом за допомогою КПКТ[15].

**Використання ШІ для ідентифікації карієсу.**

Попри те, що карієс є найчастішою патологією ротової порожнини, систем ШІ для ранньої ідентифікації каріозних процесів є дуже мало. Дослідження базується на аналізі 2D рентгенограм і відповідно можуть локалізувати карієс лише на апроксимальних поверхнях та оклюзійній поверхні, а от щічна та язична поверхні залишаються для цих систем необстеженими[15]. Проте заявляють про 89% точності

для премолярів та 88% для молярів[4].

**Інші напрямки використання ШІ у стоматології.** Інші дослідження в цьому напрямку стосуються діагностики верхньощелепного синуситу, класифікації розвитку нижніх третіх молярів, ідентифікації типів зубів і тому подібне[15], ідентифікації системи імплантів за допомогою панорамних та прицільних рентгенограм[4,21]. Цікавим і перспективним напрямком є використання ШІ в імплантології та ортопедичній стоматології. Зараз цей напрямок є надскладним, але подальше асистування ШІ лікарю у цифровому прогнозуванні імплантації є цілком реальним[4].

**Розвиток.** Не зважаючи на багатообіцяльні результати, моделі ШІ досі потребують чіткого су-

первізійного контролю над результатами. Подальше вдосконалення та систематизація отриманих результатів є обов'язковим для подальшого включення в повсякденну практику. Важливим елементом розвитку ШІ в радіології це використання зразків даних для навчання з різних центрів діагностики. Це зробить модель більш ефективною для різних зразків даних[13].

## Висновки

Штучний інтелект поступово і невпинно впроваджений в життя людини, включаючи і галузь медицини, зокрема стоматологію, і обізнаність з його можливостями стає необхідним повсякденням лікарів.

## ПОСИЛАННЯ

1. V. Makeev, P. Shcherba, Artificial intelligence in dentistry. Part one. Actual Dentistry No. 3 (2024). p. 95-104. DOI:10.33295/1992-576X-2024-3-95
2. 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.
3. Bornes RS, Montero J, Correia ARM, Rosa NRDN. 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.
4. Bernauer SA, Zitzmann NU, 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. Bonny T, Al Nassan W, Obaideen K, Al Mallahi MN, Mohammad Y, El-Damanhoury HM. 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.
6. Ahmed N, Abbasi MS, Zuberi F, Qamar W, Halim MSB, Maqsood A, Alam MK. 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.
7. Machoy ME, Szyszka-Sommerfeld L, Vegh A, Gedrange T, Wo niak 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. Hung K, Yeung AWK, Tanaka R, Bornstein MM. 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.
9. Carrillo-Perez F, Pecho OE, Morales JC, Paravina RD, Della Bona A, Ghinea R, Pulgar R, P rez MDM, Herrera LJ. 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.
10. 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.
11. Subramanian AK, 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.
12. Carrillo-Perez F, Pecho OE, Morales JC, Paravina RD, Della Bona A, Ghinea R, Pulgar R, P rez MDM, Herrera LJ. 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.
13. 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.
14. Hung KF, Yeung AWK, Bornstein MM, 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.
15. Siddiqui TA, Sukhia RH, 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.
15. Hung K, Montalvao C, Tanaka R, Kawai T, Bornstein MM. 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.
16. 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.
17. Al Turkestani N, Bianchi J, Deleat-Besson R, Le C, Tengfei L, Prieto JC, Gurgel M, Ruellas ACO, Massaro C, Aliaga Del Castillo A, Evangelista K, Yatabe M, Benavides E, Soki F, Zhang W, Najarian K, Gryak J, Styner M, Fillion-Robin JC, Paniagua B, Soroushmehr R, Cevidanes LHS. 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.
18. Bichu YM, Hansa I, Bichu AY, Premjani P, Flores-Mir C, Vaid NR. 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.
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. Bianchi J, Mendonca G, Gillot M, Oh H, Park J, Turkestani NA, Gurgel M, Cevidanes 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.
21. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Vyas S, Barmak BA, Galluci GO, Att W, Krishnamurthy VR. 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.
22. 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

### Artificial intelligence in dentistry. Part two.

*Makeev V., Shcherba P.*

**Summary.** This study on the refinement of sources of scientific and medical information regarding the role and importance of artificial intelligence in the field of «dentistry» is a continuation of the previous study, which is presented in the publication [1] and concerns such sub-fields of the «dentistry» specialty as «prosthetic dentistry», «orthodontics», «implantology», and «radiology».

**Purpose:** to systematize and review the available data of scientific research information for the period 2020-2024 regarding the application of artificial intelligence technologies in the specialty «dentistry», in particular in such areas as «prosthetic dentistry», «orthodontics», «implantology» and «radiology» and the possibilities of AI in clinical implications.

**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. From this list of articles, 22 publications were selected that corresponded to the topic of this study.

**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, prosthetic dentistry, implantology, orthodontics, radiology.

*Макеєв 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 10.06.2024р.-прийнята до друку 21.06.2024р.

# Хлопці дуже на нас розраховують! Ми не маємо права їх підвести!

«Ортобаггі» – це спільний проект ортодонтів України з благодійним фондом АЛЕКС ВЕКТОР. Ортобаггі – машини зібрані на кошти ортодонтів та дилерів ортодонтичної продукції. Вагомий внесок зробила почесний президент АОУ М. Дрогомирецька – 70 тис. грн., та АОУ – 100 тис. грн.

Якщо Ви небайдужі до нашого проекту, долучайтеся до збору коштів та продовжуємо разом допомагати нашим бійцям на фронті – приєднуйтеся!

Перший Ортобаггі вже знищує ворога на передовій!



## ОРТОБАГГІ



Найменування отримувача:  
**БО БФ АЛЕКС ВЕКТОР**

Код отримувача:  
**44685718**

Рахунок отримувача:  
**UA323052990000026006005023733**

Назва банку:  
**АТ КБ "ПРИВАТБАНК"**

Всі бажані будуть висвітлені в окремому списку, хто надіслав донати.  
Скріни донатів надсилайте куратору проекту на Viber.  
З повагою, куратор проекту допомоги ортодонтів ЗСУ  
Суздальцев Олег 050 469 40 65

# СУЧАСНА 4(121)2024 СТОМАТОЛОГІЯ

A C T U A L D E N T I S T R Y

[www.dentalexpert.com.ua](http://www.dentalexpert.com.ua)

