

МОЖЛИВОСТІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЛЕКТУ У ТЕРАПЕВТИЧНІЙ СТОМАТОЛОГІЇ

С. П. Ярова, О. С. Гензицька

Донецький національний медичний університет



АКТУАЛЬНІСТЬ

Актуальність використання штучного Інтелекту (ШІ) у терапевтичній стоматології зумовлена необхідністю подолання суб'єктивності та обмежень людського фактору в діагностиці, що має прямий вплив на якість та прогноз лікування. Зокрема, ранній карієс, особливо прихований, або вторинний під існуючими реставраціями, часто є рентгенологічно складним для точного виявлення, а діагностика значною мірою залежить від досвіду лікаря, що призводить до варіабельності результатів. В ендодонтії успіх лікування кореневих каналів критично залежить від ідентифікації складної анатомії (наприклад, додаткових каналів).

Водночас, ШІ, використовуючи алгоритми глибокого навчання, пропонує об'єктивну систему підтримки прийняття рішень, яка аналізує великі обсяги рентгенографічних даних, підвищуючи точність виявлення патологій до 95%, мінімізуючи хибнонегативні результати та забезпечуючи стандартизацію процесів, що є ключовим для підвищення ефективності, безпеки та передбачуваності терапевтичної допомоги.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

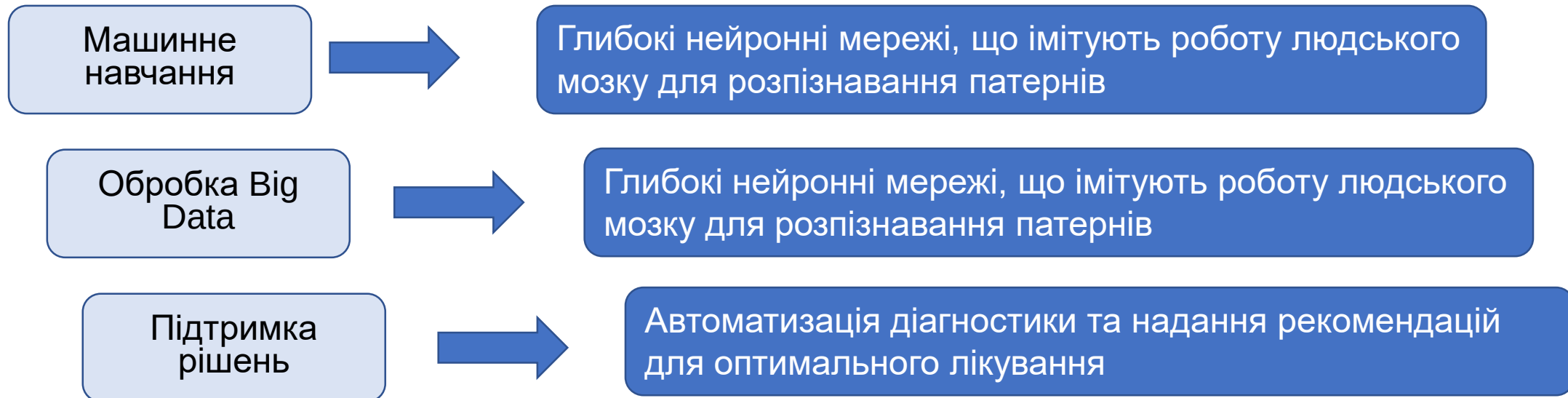
дослідити ефективність та практичну цінність систем ШІ, заснованих на глибокому навчанні, для підвищення точності діагностики каріозних уражень та оптимізації етапів ендодонтичного лікування в терапевтичній стоматології.





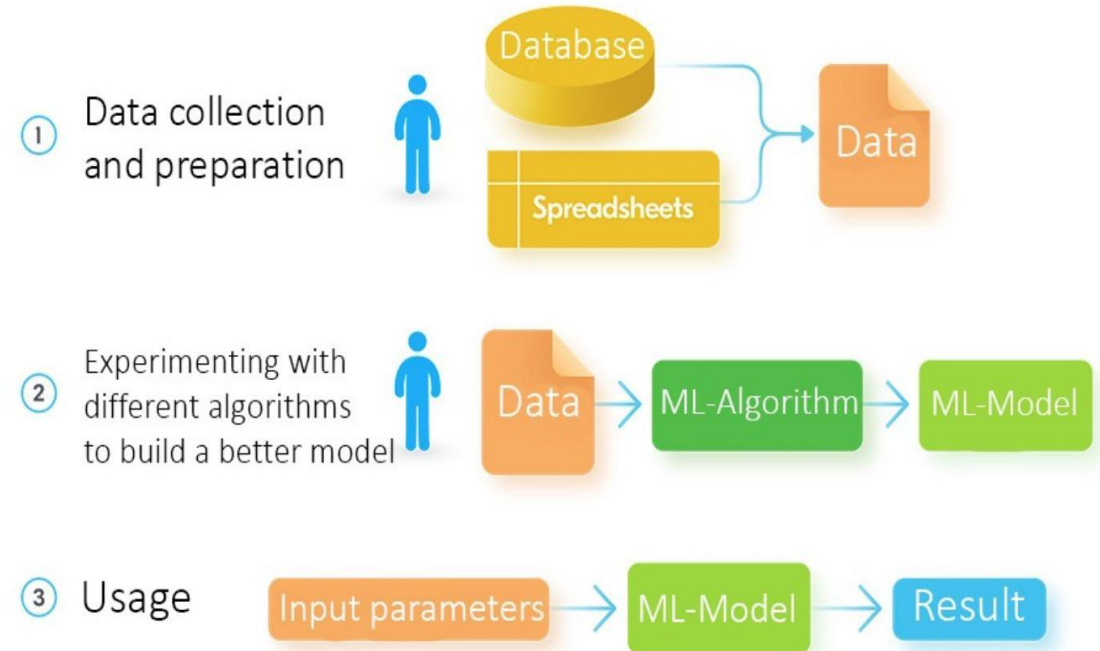
ШІ революціонує стоматологію через здатність до швидкого та точного аналізу медичних зображень

Штучний інтелект: що це і як працює?



У стоматології застосування ШІ в першу чергу включає алгоритми машинного навчання (ML) і глибокого навчання (DL), які здатні аналізувати великі масиви даних, розпізнавати закономірності і робити прогнози на основі вивченої інформації.

Основні технології ШІ, що використовуються у стоматологічних додатках, включають наступні: контрольоване навчання, неконтрольоване навчання, підкріплення навчання та глибоке навчання. Глибоке навчання наразі є дуже помітним напрямком досліджень і формує підмножину ML.

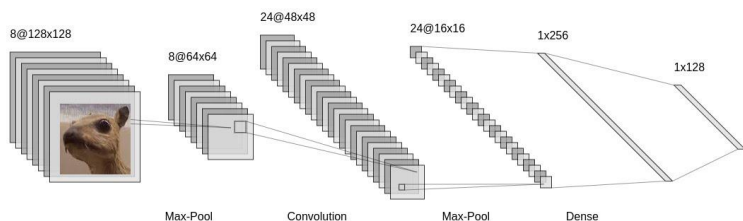


ШІ є тим фактором, що значно поліпшує стоматологічні процедури.
В стоматології практикують 2 типи нейронних систем.

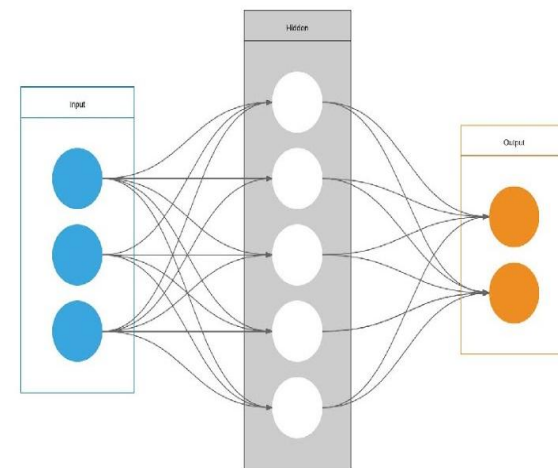
Це Convolutional Neural Networks (CNN) для обробки візуальних матеріалів: аналізу рентгенограм для виявлення аномалій на стадіях, непомітних для ока лікаря.

Та Artificial Neural Networks, що сприяє прогнозуванню результатів лікування та оцінці ризиків.

Convolutional Neural Networks



ARTIFICIAL NEURAL NETWORK



Результати досліджень

Попри те, що рентгенографія та стоматологічний зонд є високонадійними інструментами для діагностики карієсу, значна частина діагностичного процесу залежить від досвіду стоматологів. У сфері оперативної стоматології дослідження із застосуванням ШІ зосереджені на виявленні карієсу, вертикальних переломів коренів, апікальних уражень, об'ємній оцінці пульпового простору та оцінці стирання зубів.

На двовимірних (2D) рентгенівських знімках кожен піксель у градаціях сірого відображає щільність об'єкта. Завдяки аналізу таких характеристик алгоритми ШІ можуть навчатися на цих даних, розпізнавати шаблони та здійснювати прогнозування, наприклад, сегментувати зуби або виявляти карієс.

Lee et al. розробили алгоритм CNN для виявлення карієсу на періапікальних рентгенограмах. Kühnisch et al. запропонували алгоритм CNN для виявлення карієсу на внутрішньоротових знімках. Schwendicke et al. порівняли економічну ефективність ШІ у діагностиці апроксимального карієсу з результатами діагнозів стоматологів і встановили, що ШІ демонструє вищу ефективність і нижчі витрати.

Результати досліджень свідчать, що ШІ має перспективи виявляти ураження на ранніх стадіях з такою ж точністю, а іноді й перевищуючи можливості стоматологів. Це досягнення стало можливим завдяки міждисциплінарній співпраці між ІТ науковцями та клініцистами. Стоматологи вручну маркують рентгенівські знімки, позначаючи локалізацію карієсу, тоді як комп'ютерні науковці створюють набори даних і розробляють алгоритми машинного навчання. Після завершення навчання клініцисти та комп'ютерні науковці разом перевіряють і підтверджують точність і достовірність отриманих результатів.

Результати досліджень

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).

ШІ Diagnocat в стоматології

Це прогресивна система, що здатна з допомогою 3D-знімків визначити стан зубів і кісткової тканини, а також виявити захворювання навіть на самій ранній стадії і підказати, усі можливі, найкращі варіанти для їх лікування.

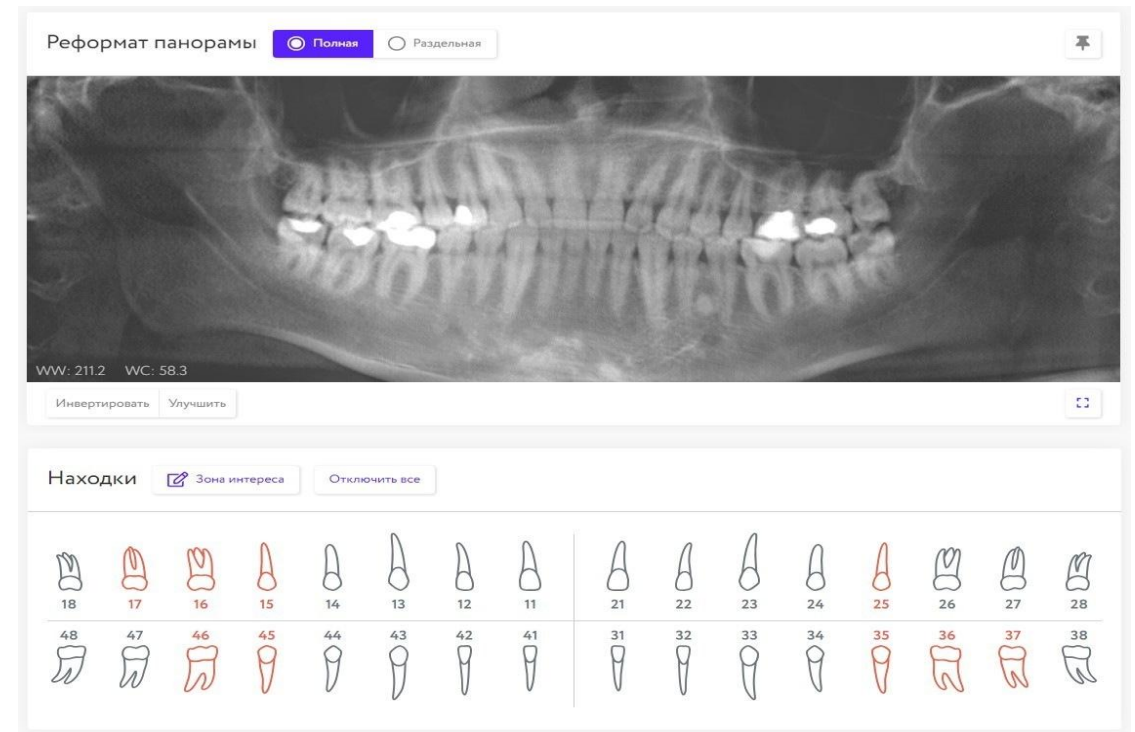
Система на основі ШІ всього за кілька хвилин допоможе стоматологу оцінити вашу комп'ютерну томограму і сформуванати звіт по стану кожного зуба. Завдяки таким прогресивним рішенням, **Diagnocat** дозволяє досягти ідеальних результатів в стоматологічному лікуванні спільно з лікарем.



Процес діагностики з системою ШІ Diagnocat

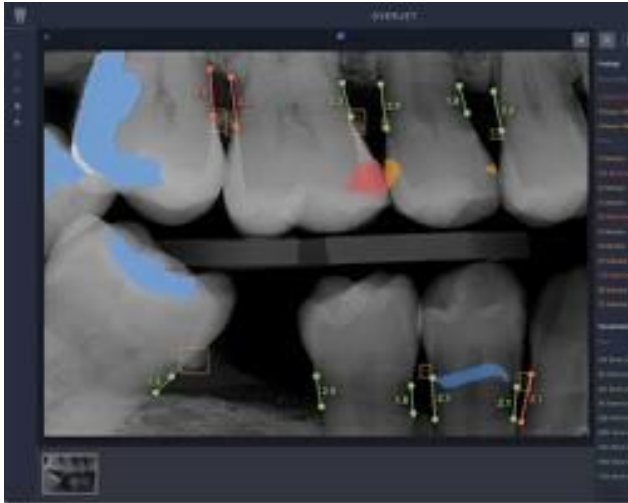
1. Лікар - стоматолог призначає пацієнту КТ - комп'ютерну томограму.
2. Після отримання КТ, Diagnocat самостійно аналізує рентген і формує звіт про стан здоров'я.
3. Пацієнт отримує обґрунтований звіт, де відзначені проблемні зони, а також повний опис, що дозволить разом з лікарем прийняти рішення про майбутнє лікування.

ШІ Diagnocat в стоматології призначено спеціально для того, аби лікар отримав точний результат та повний опис по кожному зубу з виявленням проблемних зон - за кілька хвилин.



ПРОГРАМИ ТА ПЛАТФОРМИ, які використовують ШІ в стоматології

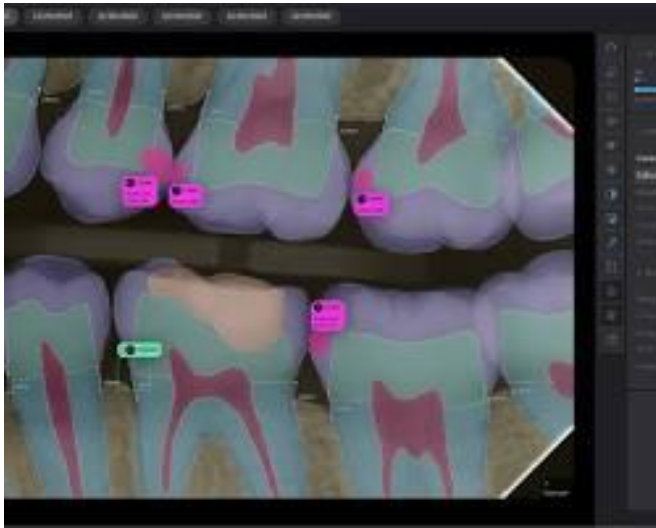
Overjet



- Призначення:** Діагностика, підвищення довіри пацієнтів та керування практикою.
- Як працює:** Overjet аналізує рентгенівські знімки в режимі реального часу. Вона підсвічує та маркує каріозні ураження, рівень кісткової тканини та інші патології. Ця програма допомагає лікарю візуально пояснити пацієнту його стан, що підвищує довіру та відсоток згоди на лікування.

ПРОГРАМИ ТА ПЛАТФОРМИ, які використовують ШІ в стоматології

Pearl (Second Opinion)



- Призначення:** "Друга думка" для діагностики.
- Як працює:** "Second Opinion" від компанії Pearl — це система, яка аналізує рентгенівські знімки та надає друге, незалежне, рішення щодо діагнозу. Вона автоматично ідентифікує каріозні ураження, дефекти пломб, періапикальні зміни та інші проблеми, допомагаючи лікарю переконатися в правильності свого діагнозу.

ПРОГРАМИ ТА ПЛАТФОРМИ, які використовують ШІ в стоматології

Denti.AI



- Призначення:** Автоматизація діагностики та ведення документації.
- Як працює:** Denti.AI використовує ШІ для аналізу рентгенівських знімків та автоматичного створення опису. Наприклад, вона може самостійно розпізнати та промаркувати зуби, визначити наявність пломб, коронок та інших реставрацій. Крім того, вона має функцію голосового керування, що дозволяє лікарю диктувати дані, а система автоматично заносить їх в карту пацієнта.

Розділи терапевтичної стоматології, де використовується ШІ:

Пародонтологія.

- Згідно з результатами певних досліджень, ШІ успішно справлявся з класифікацією агресивних та хронічних форм перебігу пародонтиту

Ендодонтія.

- 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
- Однією з найновіших можливостей використання технологій ШІ 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. 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

ШІ у стоматології

Периапікальні патології.

- 3D-обстеженню все частіше віддають перевагу у діагностиці та прогнозуванні ендодонтичного лікування, так як 2D-зображення об'єкту може спотворювати та приховувати важливі дані. Певний ряд досліджень показав, що використання технологій ШІ 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 ШІ у діагностиці складала від 72% до 93%
- Була доведено ефективність технологій, яка дозволяє автоматизовано сегментувати вхідні дані, при цьому показник точності складає 0.93
- У випадку ж тріщини кореня зі зміщенням та диспозицією, результативність ШІ склала 96,9% – 100%. При діагностиці вертикальних тріщин кореня (ВТК), за даними панорамних рентгенографій, ефективність ШІ характеризувалась чутливістю 0.75 та точністю 0.93

ШІ у стоматології

Морфологія системи кореневих каналів.

- 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, прицільній рентгенограмі та панорамній рентгенограмі. Точність ШІ складала від 86,9% до 95,1%.
- 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
- ШІ показав свою ефективність у ідентифікації наявності дистального каналу нижніх молярів С-подібної форми, базуючись на аналізі панорамних рентгенограм з точністю 95.1%

ШІ у стоматології

Верифікація робочої довжини.

- Точне визначення робочої довжини є одним з критичних моментів для успішності проведеного ендодонтичного лікування. Найточнішим, на даний момент, приладом для визначення робочої довжини є електронний апекслокатор. Використання ШНМ у питанні визначення робочої довжини кореневого каналу за допомогою даних рентгенографії показало високу результативність, точність якої склала 93–96%.
- У дослідженнях 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.

ШІ у стоматології

Успішність повторного ендодонтичного лікування.

- Було проведено дослідження, де використовувались технології ШІ для спроби передбачити можливості успішного чи невдалого ендодонтичного лікування. Ефективність ШІ не доведена.
- Також була спроба використання ШІ у питанні післяопераційної больової чутливості. На 95.6% ШІ міг точно передбачити вірогідність виникнення больового синдрому.



Проблемні питання

- Відсутність адаптованого комплексного системного забезпечення для планування ендодонтичного лікування на основі клінічних потреб та функціонування власне самої системи охорони здоров'я.
- Дефіцит моделей, які можна використовувати для прогнозування успішності лікування, та систем, які спираються не лише на дані обстежень, а й на стан пацієнта.
- 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.
- Навчання технологій ШІ на все більших зразках даних. Оскільки всі попередні моделі мали невелику кількість даних для тренувань, вони потребують постійного вдосконалення.
- 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.
- Більшість стоматологів спеціалізуються у багатьох напрямках, і, відповідно, певною вимогою до комерційних проєктів на базі ШІ буде або цінова доступність або широкий спектр функцій.
- На даному етапі розвитку, моделі ШІ у питаннях ідентифікації апікального звуження та визначення робочої довжини можуть бути лише асистентами для менш досвідчених лікарів

ВИСНОВКИ

Отже, ШІ є важливим інструментом у стоматології, який може підвищити точність діагностики, оптимізувати лікувальні процеси та зменшити вплив людського фактору. Подальші дослідження необхідні для стандартизації алгоритмів та інтеграції ШІ у клінічну практику.

