

Білей Анастасія Михайлівна,
аспірантка кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
anastasiia.bilei@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0002-7673-6930>
м. Ужгород, Україна

Гончарук-Хомин Мирослав Юрійович,
PhD, доцент кафедри терапевтичної стоматології,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
myroslav.goncharuk-khomyn@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-7482-3881>
м. Ужгород, Україна

Балега Мар'яна Іванівна,
кандидат медичних наук, доцент кафедри терапевтичної стоматології,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
mariana.balega@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8440-1298>
м. Ужгород, Україна

Баранець Владислав Васильович,
аспірант кафедри терапевтичної стоматології,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
vladyslav.baranets@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0006-8863-7605>
м. Ужгород, Україна

Ефективність застосування програмного забезпечення на основі штучного інтелекту для автоматизованого аналізу ортопантомограм з метою ідентифікації ознак периапікальних уражень

Вступ. Розвиток технологій машинного навчання та штучного інтелекту потенційно може сприяти процесу ідентифікації ознак периапікальних уражень на цифрових ортопантомограмах, пришвидшуючи етапи первинного аналізу рентгенологічних знімків та демаркації на таких очевидних та сумнівно-проблемних зон.

Мета дослідження. Оцінити діагностичну ефективність програмного забезпечення на основі штучного інтелекту для ідентифікації ознак периапікальних уражень в ході автоматизованого аналізу ортопантомограм.

Матеріали та методи. Дизайн дослідження передбачав проведення автоматичного аналізу ортопантомограм програмним забезпеченням, яке функціонує на основі технології штучного інтелекту, з метою реєстрації на цифрових знімках ознак периапікальних уражень. Для пілотного дослідження було заплановано використання 60 ортопантомограм, відібраних рандомізовано з бази цифрових знімків. В ході оцінки порівняльної діагностичної ефективності використовуваного програмного забезпечення аналіз відібраних 60 ортопантомограм з цільовим пошуком на таких ділянках з ознаками периапікальних уражень проводився незалежно двома лікарями-стоматологами з досвідом роботи у практичній стоматології понад 10 років та спеціалізацією у проведенні терапевтичних стоматологічних маніпуляцій.

Результати дослідження та їх обговорення. В ході автоматизованого опрацювання 60 ортопантомограм програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту було верифіковано 187 ділянок з ознаками потенційних периапікальних змін. Двома лікарями-стоматологами було верифіковано 158 та 132 ділянок з ознаками потенційних периапікальних змін відповідно. Повторюваний аналіз тієї ж вибірки ортопантомограм програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту продемонстрував 100% репродуктивність отриманих результатів щодо кількості первинно ідентифікованих ділянок, а також щодо особливостей їх розподілу. Дані, отримані в результаті аналізу ортопантомограм лікарями-стоматологами засвідчили, що узгодженість між такими щодо кількості ідентифікованих ділянок з ознаками периапікальних змін складає 83,54%, тоді як щодо розподілу таких – 87,12%.

Висновки. Програмне забезпечення на основі штучного інтелекту в ході автоматизованого аналізу ортопантомограм забезпечує на 15,50–29,41% вищу поширеність ідентифікації ознак потенційних периапікальних уражень, ніж аналіз ортопантомограм проведений лікарями-стоматологами. Значно перевагою програмного забезпечення для автоматичного аналізу ортопантомограм є абсолютна репродуктивність отриманих результатів при повторенні діагностичного процесингу цифрових знімків.

Ключові слова: ендодонтія, лікування кореневих каналів, периапікальні ураження, штучний інтелект, ортопантомограма.

Bilei Anastasia Mykhaylivna, PhD-student at the Department of Surgical Dentistry and Clinical Disciplines, SHEI «Uzhhorod National University», anastasiia.bilei@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0002-7673-6930>, Uzhhorod, Ukraine

Goncharuk-Khomyn Myroslav Yuriyovych, PhD, Associate Professor, Department of Restorative Dentistry, SHEI «Uzhhorod National University», myroslav.goncharuk-khomyn@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7482-3881>, Uzhhorod, Ukraine

Baleha Maryana Ivanivna, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Restorative Dentistry, SHEI «Uzhhorod National University», mariana.balega@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8440-1298>, Uzhhorod, Ukraine

Baranets Vladyslav Vasylovych, PhD-student, Department of Restorative Dentistry, SHEI «Uzhhorod National University», vladyslav.baranets@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0006-8863-7605>, Uzhhorod, Ukraine

Effectiveness of using artificial intelligence-based software for automated analysis of orthopantomograms to identify signs of periapical lesions

Introduction. The development of machine learning and artificial intelligence technologies can potentially facilitate the process of identifying signs of periapical lesions on digital orthopantomograms, speeding up the stages of primary analysis of radiographic images and demarcation among such obvious and questionable problematic areas.

Objective. To assess the diagnostic effectiveness of artificial intelligence-based software for identifying signs of periapical lesions during automated analysis of orthopantomograms.

Methodology/Methods. The study design involved automatic analysis of orthopantomograms by software operating on the basis of artificial intelligence technology, in order to register signs of periapical lesions on digital images. For the pilot study, it was planned to use 60 orthopantomograms, randomly selected from the digital image database. To assess the comparative diagnostic effectiveness of the software used, the analysis of the selected 60 orthopantomograms with a targeted search among such areas with signs of periapical lesions was carried out independently by two dentists with experience in clinical practice for over 10 years and specialization in performing therapeutic dental manipulations.

Results and Discussion. During the automated processing of 60 orthopantomograms by software based on artificial intelligence, 187 areas with signs of potential periapical changes were verified. Two dentists verified 158 and 132 areas with signs of potential periapical changes, respectively. Repeated analysis of the same sample of orthopantomograms by software based on artificial intelligence demonstrated 100% reproducibility of the obtained results in terms of the number of initially identified areas, as well as in terms of their distribution. The data obtained as a result of the analysis of orthopantomograms by dentists has shown that agreement between them in terms of the number of identified areas with signs of periapical changes was 83,54%, while in terms of their distribution was 87,12%.

Conclusions. Software based on artificial intelligence during the automated analysis of orthopantomograms provides 15,50–29,41% higher prevalence for identification of signs related with potential periapical lesions compared to the analysis of orthopantomograms performed by dentists. A significant advantage of the software for automatic analysis of orthopantomograms is the absolute reproducibility of the obtained results when repeating the diagnostic processing of digital images.

Key words: endodontics, root canal treatment, periapical lesions, artificial intelligence, orthopantomogram.

Вступ. Періапікальна рентгенографія є найбільш часто застосовуваним та діагностично-надійним методом ідентифікації періапікальних уражень, хоча ранні ознаки патологічних періапікальних змін можуть бути верифіковані методом конусно-променевої комп'ютерної томографії навіть з порівняно вищим рівнем чутливості [5]. З іншої сторони вища чутливість діагностичної методики нерозривно пов'язана з ризиком вищої поширеності хибно-позитивних результатів в умовах недостатньої натренованості оператора щодо коректної інтерпретації отриманих даних [6, 9].

Систематичний огляд Petersson A. та колег дозволив констатувати дефіцит даних високого рівня надійності щодо валідованої діагностичної точності застосовуваних рентгенологічних методів дослідження для верифікації мінімальних періапікальних змін [10]. З іншої сторони проблема валідації діагностичної точності рентгенологічних методів щодо верифікації періапікальних уражень різної вираженості полягає в тому, що референтними методами для таких є дослідження матеріалу post-mortem або ж біопсії, отриманої інвазивним хірургічним шляхом [5, 6, 10].

Дані іншого систематичного огляду встановили, що показники діагностичної точності періапікальних знімків та ортопантомограм щодо верифікації періапікальних змін критично не відрізняються, і сягають 71% та 66% відповідно, а відтак двомірні модальності

рентгенологічних досліджень можуть бути використані у якості діагностичних підходів першого рівня для діагностики апікального періодонтиту [12]. Stera G. та колеги навіть відмітили, що діагностична точність ортопантомографії та періапікальної рентгенографії в проекції нижніх молярів та премоларів є фактично тотожною [12].

Розвиток технологій машинного навчання та штучного інтелекту потенційно може сприяти процесу ідентифікації ознак періапікальних уражень на цифрових ортопантомограмах, пришвидшуючи етапи первинного аналізу рентгенологічних знімків та демаркації на таких очевидних та сумнівно-проблемних зон [7]. Водночас інтерпретація результатів опрацювання цифрових рентгенологічних зображень із залученням програмного забезпечення на основі штучного інтелекту не може проводитися сліпо, і потребує належної валідації для категоризації клінічної значущості у відповідності до загальноприйнятих критеріїв [7]. Окремі доступні публікації засвідчують превалююче високу специфічність ідентифікації ділянок періапікальних уражень на цифрових ортопантомограмах із залученням до процесу аналізу програмного забезпечення (ПЗ) на основі штучного інтелекту, проте лише 33% чутливості такого підходу базуючись на досягнутому клінічному консенсусі лікарів-експертів [8].

Приймаючи до уваги вищенаведені факти актуальною для дослідження оцінка діагностичної ефек-

тивності доступного програмного забезпечення, яке працює на основі технології штучного інтелекту, для детекції периапікальних уражень на цифрових ортопантомограмах, як різновиду двовимірного рентгенологічного зображення, котре забезпечує можливість візуалізації одночасно усіх зубів та прилеглих до них ділянок пародонту, в якості первинно-скринінгового підходу.

Мета. Оцінити діагностичну ефективність програмного забезпечення на основі штучного інтелекту для ідентифікації ознак периапікальних уражень в ході автоматизованого аналізу ортопантомограм.

Методологія та методи дослідження. Дизайн дослідження передбачав проведення автоматичного аналізу ортопантомограм програмним забезпеченням, яке функціонує на основі технології штучного інтелекту, з метою реєстрації на цифрових знімках ознак периапікальних уражень. Для пілотного дослідження було заплановано використання 60 ортопантомограм, відібраних рандомно з бази цифрових знімків Університетської стоматологічної поліклініки (стоматологічний факультет ДВНЗ «Ужгородський національний університет») з використанням фільтру лише щодо віку пацієнтів (понад 18 років). Обробка ортопантомограм проходила у програмному забезпеченні WeDiagnostix (WeDiagnostiX, Вокрессон, Франція).

Перед опрацюванням в програмному забезпеченні ортопантомограми не піддавались жодним графічним корекціям чи маніпуляціям із зміною вихідних параметрів зображення, проте із структури знімків була видалена інформація, що містила особисті дані пацієнтів. Перед опрацюванням ортопантомограм програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту від пацієнтів були отримані інформовані згоди щодо погодження на обробку знімків за умови відсутності на таких паспортних даних, котрі в подальшому можуть бути використані для встановлення особи пацієнта. У разі відмови пацієнта від опрацювання його/її ортопантомограми програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту, набір досліджуваних знімків поповнювався з пулу таких доступних у базі цифрових знімків Університетської стоматологічної поліклініки

до досягнення кінцевої кількості у 60 досліджуваних рентгенограм.

Для оцінки порівняльної діагностичної ефективності використовуваного програмного забезпечення аналіз відібраних 60 ортопантомограм з цільовим пошуком на таких ділянках з ознаками периапікальних уражень проводився незалежно двома лікарями-стоматологами з досвідом роботи у практичній стоматології понад 10 років та спеціалізацією у проведенні терапевтичних стоматологічних маніпуляцій. Зважаючи на варіативність критеріїв, які застосовуються для оцінки стану периапікальних тканин, у даному дослідженні для стандартизації підходу до верифікації факту наявності периапікальних змін використовувався критерій діагностики мінімальних змін, що характеризувалися більш, ніж двократним потовщенням простору пародонтальної зв'язки в проекції апексу в порівнянні з товщиною простору зв'язки на латеральній поверхні кореня [11]. Даний підхід застосовувався для забезпечення максимального рівня чутливості при оцінці ортопантомограм лікарями-стоматологами.

Реєстрація кількості та локалізації периапікальних змін з їх афіліацією до конкретного зуба проводилася у програмному забезпеченні Microsoft Excel 2021 (Microsoft Office 2021, Microsoft, США). Рівні узгодженості результатів ідентифікації кількості та розподілу ділянок периапікальних змін оцінювали за відсотковим співвідношення кількості спільно-відмічених ділянок двома операторами відносно максимального показника, відміченого одним із спостерігачів.

Виклад основного матеріалу дослідження. В ході автоматизованого опрацювання 60 ортопантомограм програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту було верифіковано 187 ділянок з ознаками потенційних периапікальних змін. В свою чергу двома лікарями-стоматологами було верифіковано 158 та 132 ділянки з ознаками потенційних периапікальних змін відповідно в структурі досліджуваного пулу ортопантомограм (рис. 1).

Повторюваний аналіз тієї ж вибірки ортопантомограм програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту продемонстрував 100% репродуктивність

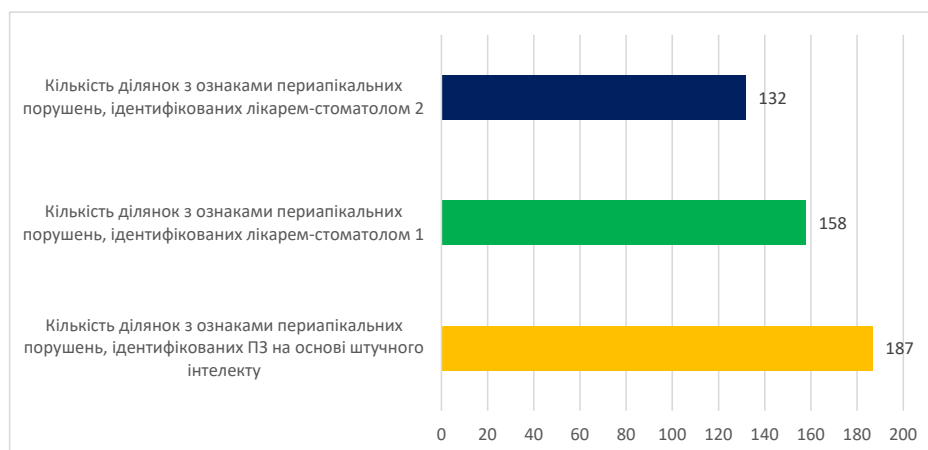


Рис. 1. Розподіл випадків ідентифікації ділянок з ознаками периапікальних порушень програмним забезпеченням та лікарями-стоматологами

отриманих результатів щодо кількості первинно ідентифікованих ділянок, а також щодо особливостей їх розподілу (рис. 2).

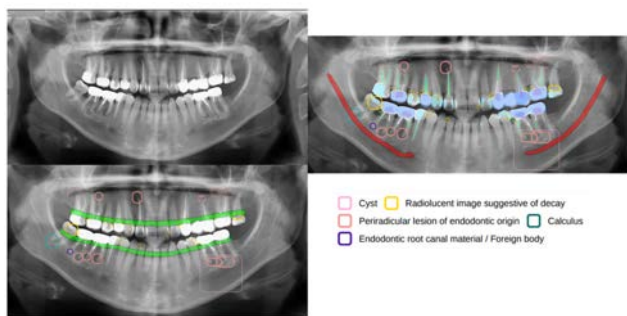


Рис. 2. Приклад результатів опрацювання цифрової ортопантомограми у програмному забезпеченні на основі штучного інтелекту з ідентифікованими ділянками, які демонструють ознаки периапікальних уражень (ортопантомограма з клінічної практики та експериментальних досліджень Гончарук-Хомин М. Ю.)

Дані, отримані в результаті аналізу ортопантомограм лікарями-стоматологами засвідчили, що узгодженість між такими щодо кількості ідентифікованих ділянок з ознаками периапікальних змін складає 83,54%, тоді як щодо розподілу таких – 87,12%. При цьому програмне забезпечення на основі штучного інтелекту дозволило виявити на 15,50% та 29,41% більше потенційних ділянок периапікальних змін, ніж два лікарі-стоматологи окремо (рис. 3).

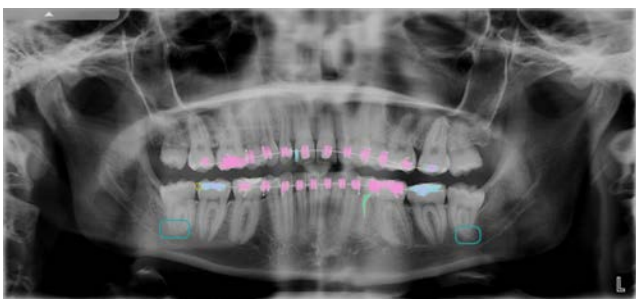


Рис. 3. Приклад результатів опрацювання цифрової ортопантомограми у програмному забезпеченні на основі штучного інтелекту, на котрій не було виявлено ділянок з ознаками периапікального ураження (в проекції третіх молярів нижньої щелепи відмічені зони близького контакту коренів зубів та проекції ходу нижнього альвеолярного нерва; ортопантомограма з клінічної практики та експериментальних досліджень Білей А. М.)

Потрібно розуміти, що не усі ділянки верифіковані програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту слід інтерпретувати як такі, які є абсолютно підтвердженими та відповідають клінічно-орієнтованим чи рентгенологічним критеріям. Такий висновок був отриманий і у дослідженні Zadrozny L. та колег, в яких коефіцієнт кореляції між класами щодо периапікальних уражень ідентифікованих ШІ на ортопантомограмах та за

еталонним підходом (узгодженість між трьома експертами з використанням специфічних критеріїв) складав лише 0,619, тоді як порогове значення у 0,75 було прийняте як таке, що характеризує хорошу надійність [13].

По відношенню до клінічно-експертного консенсусу опрацювання ортопантомограм з метою детекції периапікальних уражень в попередніх дослідженнях характеризувалось діагностичною чутливістю на рівні 33,33% при застосуванні з метою обробки зображень програмного забезпечення на основі штучного інтелекту [8]. Хоча використання моделі описаної Ва-Hattab R. та колег з тією ж метою сприяло досягненню кумулятивних показників чутливості та специфічності 72,2% і 85,6%, і результуючій діагностичній точності на рівні 84,6% [2]. В проведеному дослідженні ми не проводили визначення чутливості та специфічності програмного забезпечення та порівняння даних показників, із такими відміченими серед лікарів-стоматологів, але використовуване програмне забезпечення сприяло ідентифікації вищої кількості ділянок з ознаками периапікальних змін, ніж така була встановлена, лікарями-стоматологами. Отриманий результат опосередково може свідчити про те, що використовуване програмне забезпечення потенційно характеризується вищим рівнем чутливості щодо ідентифікації ознак периапікальних порушень на ортопантомограмах, ніж лікарі-стоматологи. З іншої сторони встановити фактичні рівні специфічності використовуваного підходу із залученням ПЗ на основі ШІ без застосування для валідації такого певного еталонного методу неможливо. Непрямі розбіжності із результатами отриманими у роботі Kazimierzczak та у нашому дослідженні можуть бути обґрунтовані також тим, що у роботі польської досліджуваної групи був встановлений поріг позитивної діагностики, котрий відповідав рівню ймовірності підтвердження діагнозу в 50%.

Порівняння можливостей застосування штучного інтелекту на різних наборах рентгенологічних даних з метою верифікації ознак периапікальних уражень дозволило встановити, що рівні чутливості та специфічності при ШІ-процесингу периапікальних рентгенограм становлять 91,75% та 86,27% відповідно, ортопантомограм – 62,52% та 84,29% відповідно, даних КПКТ – 85,39% та 91,18% відповідно [3].

При інтерпретації периапікальних рентгенограм як «золотого стандарту» детекції периапікальних змін у дослідженні Arslan Z. було встановлено, що чутливість ортопантомографії з цього приводу складає 77%, а діагностична точність – 84% [1]. З іншої сторони систематичний огляд Stera G. та колег дозволив констатувати, що діагностична точність периапікальних рентгенограм щодо верифікації ділянок апікального періодонтиту є лише на 6% вищою, ніж діагностична точність ортопантомограм з урахуванням діапазону варіацій вираженості периапікальних змін [12]. Враховуючи це, необхідно розуміти, що не усі ділянки периапікальних уражень, ідентифіковані програмним забезпеченням на основі штучного інтелекту, однозначно відповідають загальноприйнятим критеріям периапікальних змін, хоча такий же висновок стосується і результатів, відмічених лікарями-стоматологами.

Нижча частота ідентифікації ознак периапікальних змін лікарями-стоматологами в порівнянні із програмним забезпеченням може бути обґрунтована двома факторами: 1) суб'єктивною інтерпретацією окремих рентгенологічних змін, базуючись на власному клінічному досвіді, що провокує виникнення похибки спостерігача; 2) нижчими діагностичними можливостями ортопантомограм в порівнянні з периапікальними знімками чи даними конусно-променевої комп'ютерної томографії щодо ідентифікації мінімальних рентгенологічних змін та особливостей репрезентації таких в принципі, приймаючи до уваги підходи до реконструкції ортопантомографічних зображень та поширеність серед таких дисторсій різного походження [5, 6, 10].

В подальших дослідженнях порівняння різних підходів до ідентифікації периапікальних уражень, в тому числі і таких із залученням технології штучного інтелекту, буде проводитися нами з використанням методу консенсусного експертного висновку у якості референтного/еталонного методу, відносно якого можна будуть обрахуватися рівні чутливості та специфічності застосованих діагностичних модальностей.

Значною перевагою застосування моделей штучного інтелекту для опрацювання ортопантомограм є швидкість процесингу даних. Зокрема, Boztuna M. описали модель штучного інтелекту на основі архітектури U²-Net, яка для ідентифікації ділянок периапікальних уражень потребувала лише 1,2 секунди на знімок [4]. При використанні апробованого програмного забезпечення в нашому дослідженні на опрацювання одного цифрового знімку йшло в середньому до 8 секунд, однак слід відмітити, що використане ПЗ на основі ІІІ проводить ідентифікації не тільки периапікальних змін, а й результатів ятрогенних втручань, анатомічних особливостей, патологічних порушень та змін рівня кісткової тканини, відповідно для аналізу такого комплексу даних зазначені витрати часу є обґрунтованими.

Інформація про конфлікт інтересів. Конфлікт інтересів відсутній.

Інформація про фінансування. Автори гарантують, що вони не отримували жодних винагород у будь-якій формі, здатних вплинути на результати роботи.

Особистий внесок кожного автора у виконання роботи:

Білей А.М. – концептуалізація, формальний аналіз, курація даних, збір матеріалу дослідження, аналіз та перевірка вихідних даних, написання та редагування статті;

Гончарук-Хомин М.Ю. – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, збір матеріалу дослідження, аналіз та перевірка вихідних даних, курація даних, написання та редагування статті;

Балега М.І. – формальний аналіз, методологія, аналіз та перевірка вихідних даних;

Баранець В.В. – збір матеріалу дослідження, аналіз та перевірка вихідних даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Arslan ZB, Demir H, Berker Yıldız D, Yaşar F. Diagnostic accuracy of panoramic radiography and ultrasonography in detecting periapical lesions using periapical radiography as a gold standard. *Dentomaxillofac Radiol.* 2020 Sep 1;49(6):20190290. DOI: 10.1259/dmfr.20190290
2. Ba-Hattab R, Barhom N, Osman SA, Naceur I, Odeh A, Asad A, Al-Najdi SA, Ameri E, Daer A, Silva RL, Costa C. Detection of periapical lesions on panoramic radiographs using deep learning. *Appl Sci.* 2023 Jan 24;13(3):1516. DOI: 10.3390/app13031516
3. Bansal RK, Arya A, Singh B, Singla M. Comparative Efficiency of Artificial Intelligence in Detecting Periapical Lesions Using Periapical Radiographs, Orthopantomogram, and Cone-beam Computed Tomography: A Scoping Review. *Indian J Dent Sci.* 2025 Jan 1;17(1):32-7. DOI: 10.4103/ijds.ijds.132_24
4. Boztuna M, Firinciogululari M, Akkaya N, Orhan K. Segmentation of periapical lesions with automatic deep learning on panoramic radiographs: an artificial intelligence study. *BMC Oral Health.* 2024 Nov 1;24(1):1332. DOI: 10.1186/s12903-024-05126-4.

5. Cotti E, Schirru E. Present status and future directions: Imaging techniques for the detection of periapical lesions. *Int Endod J.* 2022 Oct;55:1085-99. DOI: 10.1111/iej.13828
6. Gliga A, Imre M, Grandini S, Marruganti C, Gaeta C, Bodnar D, Dimitriu BA, Foschi F. The limitations of periapical X-ray assessment in endodontic diagnosis – a systematic review. *J Clin Med.* 2023;12(14):4647.
7. Goncharuk-Khomyn M, Noenko I, Cavalcanti AL, Adigüzel Ö, Dubnov A. Artificial intelligence in endodontics: relevant trends and practical perspectives. *Ukr Dent J.* 2023 Mar 5;2(1):96-101. DOI: 10.56569/UDJ.2.1.2023.96-101
8. Kazimierczak W, Wajer R, Wajer A, Kiian V, Kloska A, Kazimierczak N, Janiszewska-Olszowska J, Serafin Z. Periapical lesions in panoramic radiography and CBCT imaging – assessment of AI's diagnostic accuracy. *J Clin Med.* 2024 May 4;13(9):2709. DOI: 10.3390/jcm13092709
9. Kruse C, Spin-Neto R, Wenzel A, Kirkevang LL. Cone beam computed tomography and periapical lesions: a systematic review analysing studies on diagnostic efficacy by a hierarchical model. *Int Endod J.* 2015 Sep;48(9):815-28. DOI: 10.1111/iej.12388
10. Petersson A, Axelsson S, Davidson T, Frisk F, Hakeberg M, Kvist T, Norlund A, Mejäre I, Portenier I, Sandberg H, Tranæus S. Radiological diagnosis of periapical bone tissue lesions in endodontics: a systematic review. *Int Endod J.* 2012 Sep;45(9):783-801. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2012.02034.x
11. Rajasekhar R, Soman S, Sebastian VM, Muliya S, Cherian NM. Indexes for periapical health evaluation: A review. *Int Dent Res.* 2022 Aug 31;12(2):97-106. DOI: 10.5577/intdentres.2022.vol12.no2.8
12. Stera G, Giusti M, Magnini A, Calistri L, Izzetti R, Nardi C. Diagnostic accuracy of periapical radiography and panoramic radiography in the detection of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis. *Radiol Med.* 2024 Nov;129(11):1682-95. DOI: 10.1007/s11547-024-01882-z
13. Zadrożny Ł, Regulski P, Brus-Sawczuk K, Czajkowska M, Parkanyi L, Ganz S, Mijiritsky E. Artificial intelligence application in assessment of panoramic radiographs. *Diagnostics.* 2022 Jan 17;12(1):224. DOI: 10.3390/diagnostics12010224

Дата першого надходження рукопису до видання: 18.08.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 16.09.2025
Дата публікації: 28.11.2025