

УДК 004.8

Хариш І.М., Кліменко В.І., Тищенко О.О., Багрій Р.О.

Хмельницький національний університет

МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПЕРЕЛОМІВ КІСТОК НИЖНІХ КІНЦІВОК ЗА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИМ АНАЛІЗОМ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗНІМКІВ

Розроблено метод ідентифікації переломів кісток нижніх кінцівок за нейромережевим аналізом рентгенівських знімків. Також розроблена відповідна система нейромережевої ідентифікації переломів на рентгенівських знімках, яка показала високі результати точності, чутливості та специфічності, що робить її конкурентоспроможною серед існуючих методів. Проте, для досягнення максимальних результатів необхідна велика кількість даних для навчання та потужне апаратне забезпечення для ефективного використання моделі в реальному світі. Практичне впровадження методу скорочує час на діагностику і зменшує ризик помилок, що підвищує ефективність роботи медичного персоналу.

The method for identifying bone fractures of the lower extremities based on neural network analysis of X-ray images has been developed. A corresponding neural network fracture identification system on X-ray images was also developed, which showed high results of accuracy, sensitivity and specificity, which makes it competitive among existing methods. However, to achieve maximum results, large amounts of training data and powerful hardware are required to effectively use the model in the real world. Practical implementation of the method shortens the time for diagnosis and reduces the risk of errors, which increases the efficiency of the medical staff.

Діагностика переломів кісток нижніх кінцівок є важливим аспектом сучасної травматології та ортопедії, оскільки своєчасне та точне виявлення таких ушкоджень сприяє ефективному лікуванню, знижує ризик ускладнень та прискорює реабілітацію. Традиційно, рентгенографія є основним методом візуалізації та діагностики переломів, однак висока залежність результатів діагностики від професійних навичок рентгенолога створює ймовірність пропусків або помилок, особливо у випадках складних, малопомітних або нетипових переломів. Використання нейронних мереж для аналізу рентгенівських знімків може допомогти значно підвищити точність діагностики, автоматизуючи ідентифікацію та класифікацію переломів, що, у свою чергу, зменшує навантаження на медичних працівників і знижує ризик людських помилок [1].

Переломи кісток нижніх кінцівок є однією з найбільш поширених травм у практиці травматології. Вони можуть виникати внаслідок різних причин, зокрема, травм, падінь, спортивних змагань або побутових нещасних випадків. Визначення

типу перелому є важливим етапом у діагностиці та подальшому лікуванні пацієнтів [2]. Особливості діагностики переломів кісток нижніх кінцівок за рентгенівськими знімками представлені на рисунку 1.

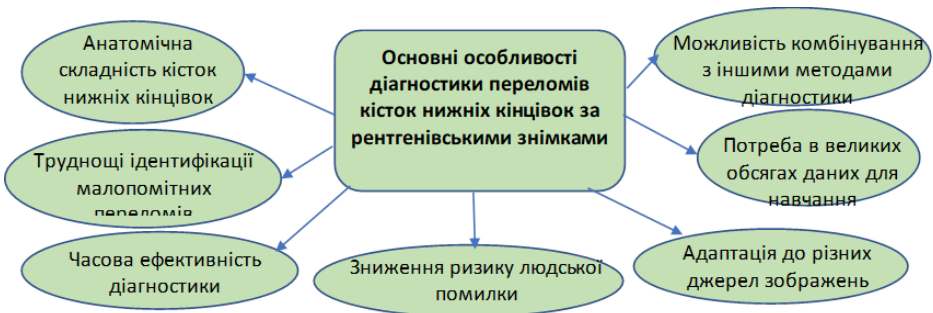


Рисунок 1 – Основні особливості діагностики переломів кісток нижніх кінцівок за рентгенівськими знімками

Нижні кінцівки складаються з великої кількості кісткових структур, кожна з яких має унікальні морфологічні особливості. Основними кістками, схильними до травм, є стегнова кістка, велика і мала гомілкові кістки, а також кістки стопи. Кожна з цих кісток може мати різноманітні варіації переломів, що ускладнює діагностику [3]. Наприклад, переломи шийки стегна часто мають зміщення, яке важко діагностувати без ретельного аналізу зображення. Нейронні мережі, при відповідному тренуванні, здатні враховувати ці анатомічні особливості, що підвищує точність діагностики порівняно з класичними методами.

Деякі типи переломів, такі як тріщини або внутрішньосуглобові ушкодження, часто складно виявити на стандартних рентгенівських знімках через невеликі розміри та малопомітні особливості [2]. Наприклад, тріщини у великогомілковій кістці можуть бути непомітними через їхнє розташування і специфічні кути, під якими слід проводити зйомку для їх ідентифікації. Нейронні мережі здатні аналізувати ці дрібні деталі за рахунок високої роздільної здатності виявлення на основі множини зразків навчання, що забезпечує ефективне виявлення навіть незначних ушкоджень.

Застосування нейронних мереж дозволяє значно прискорити діагностику завдяки автоматизованому процесу обробки зображень [4, 5]. У стандартному випадку лікарі витрачають значний час на ретельне дослідження кожного знімка, особливо у випадках, коли необхідно порівнювати декілька ракурсів для оцінки положення уламків кістки [6]. Нейронні мережі можуть проводити такий аналіз за долі секунди, аналізуючи як геометрію, так і морфологію кісток та виявляючи

переломи з високою точністю. Завдяки цьому значно знижується тривалість перебування пацієнтів у приймальних відділеннях, що покращує якість медичних послуг і зменшує черги [7, 8].

Сучасні системи нейронних мереж можуть працювати з рентгенівськими знімками, отриманими за допомогою різного обладнання, що відрізняється за якістю зображення, роздільною здатністю та налаштуваннями [9]. Завдяки алгоритмам адаптації та попередньої обробки зображень нейронні мережі здатні забезпечувати стабільну точність незалежно від умов зйомки, що робить їх незамінними в умовах неоднорідності медичних закладів, які використовують різні рентгенографічні апарати [10, 11].

Отож, аналіз особливостей діагностики переломів кісток нижніх кінцівок за допомогою рентгенівських знімків показав, що сучасні нейронні мережі мають значний потенціал для підвищення точності та швидкості медичної діагностики. За рахунок здатності до автоматизованої обробки, адаптації до різних видів зображень, зниження ризику людської помилки та забезпечення стабільної якості в різних умовах нейронні мережі є перспективним інструментом для застосування в ортопедії та травматології [12]. Проте, для реалізації повного потенціалу цих технологій необхідна наявність великих обсягів даних та можливість інтеграції з іншими діагностичними методами.

Автоматична ідентифікація переломів кісток із використанням нейронних мереж – це важлива інновація у медичній діагностиці, яка дозволяє підвищити швидкість і точність виявлення переломів, особливо в нижніх кінцівках. Завдяки алгоритмам глибокого навчання така система допомагає лікарям-радіологам та хірургам приймати точніші рішення, знижуючи ризик діагностичних помилок і зменшуючи навантаження на персонал.

Розроблений метод виконує автоматизацію процесу виявлення та класифікації переломів за рентгенівськими знімками. Цей процес включає кілька ключових етапів. Спершу виконується попередня обробка зображень: алгоритми видаляють шум, оптимізують контрастність і налаштовують якість, щоб зображення були максимально інформативними. Потім за допомогою сегментації виділяються основні ділянки з кістковими структурами. Далі система виявляє переломи, ідентифікуючи їхні різновиди — від простих до складних ушкоджень. На завершення визначається тип і місце перелому, що допомагає оцінити тяжкість ушкодження і планувати подальше лікування. Інтеграція з медичними інформаційними системами забезпечує зручне зберігання та обмін результатами, відповідно до медичних стандартів.

Для ефективної роботи система повинна мати високу точність, швидкість обробки знімків, гнучкість до різних типів рентгенівських зображень і забезпечувати конфіденційність даних пацієнтів. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс

дозволяє лікарям швидко отримувати потрібну інформацію, не заглиблюючись у технічні деталі нейронних мереж.

Схема автоматизованої ідентифікації переломів кісток нижніх кінцівок представлена на рисунку 2.

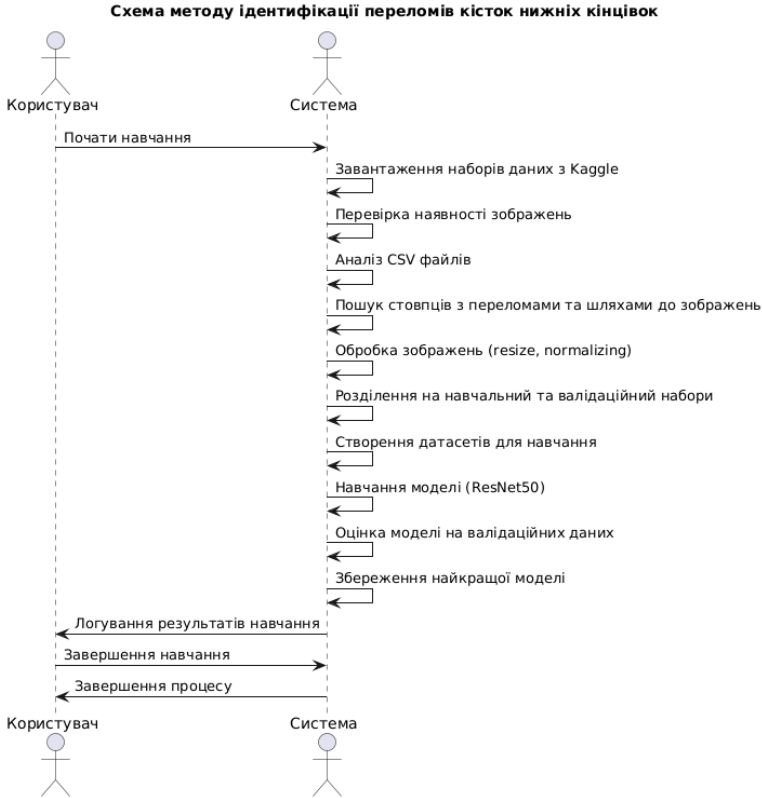


Рисунок 2 – Схема автоматизованої ідентифікації переломів кісток нижніх кінцівок

Для досягнення високої точності виявлення переломів необхідно пройти кілька етапів, кожен з яких забезпечує правильну підготовку та обробку даних для навчання глибоких нейронних мереж. Метод повинен працювати з реальними рентгенівськими зображеннями, що відрізняються за якістю та умовами зйомки.

Першим етапом у реалізації методу є формування набору даних, що складається з рентгенівських знімків. Для цього використовуються відкриті набори даних, доступні через платформу Kaggle, що містять зображення, які відповідають

заданій тематиці. Коди в програмі передбачають завантаження даних з кількох таких наборів, що забезпечує різноманітність прикладів для навчання моделі.

Для збору зображень використовується інтерфейс Kaggle API. Набори даних завантажуються в локальні каталоги, і кожен набір даних містить рентгенівські зображення разом із метаданими, що вказують на наявність переломів або їх відсутність. Програма також перевіряє наявність зображень у зазначених шляхах, що дозволяє уникнути помилок у подальшій обробці.

На етапі попередньої обробки зображення проходять кілька важливих етапів: нормалізація, збільшення та інші техніки, що дозволяють підготувати дані для подальшого навчання моделі.

Нормалізація зображень є важливим кроком, оскільки дозволяє масштабувати пікселі зображення до стандартних значень, що сприяє швидшому та ефективнішому навчанню моделі. У програмі для цього використовуються стандартні параметри нормалізації для мережі ResNet, такі як середні значення та стандартні відхилення для RGB-каналів зображення.

Щоб покращити здатність моделі до генералізації та зменшити вплив шумів, застосовується техніка збільшення даних (data augmentation), що включає варіації таких параметрів, як зміщення, повороти та інші трансформації зображень. Це дозволяє моделі ефективно працювати з різними варіантами зображень, що може зменшити вплив недосконалостей у процесі збору даних.

Крім того, програма реалізує кешування оброблених зображень, що дозволяє зменшити навантаження на систему при роботі з великими наборами даних і підвищити ефективність обробки.

Сегментація є важливим етапом, що передує навчанню моделі. Оскільки рентгенівські зображення можуть містити різні елементи, для моделі необхідно виділити лише кісткові структури, що дозволяє зосередити увагу на зонах, де можуть бути переломи. У програмі не описано прямої сегментації зображень, але для подальшого покращення методу можна передбачити використання спеціалізованих методів сегментації для ізоляції частин зображення, що містять кістки, з метою підвищення точності ідентифікації переломів.

Після навчання модель оцінюється за допомогою таких метрик, як точність, чутливість і специфічність. Точність визначає загальний відсоток правильних передбачень, чутливість — здатність моделі правильно виявляти переломи (особливо важливе для медичних застосувань), а специфічність — здатність моделі правильно визначати відсутність перелому. Ці метрики допомагають не тільки оцінити загальну ефективність моделі, але й сприяють оптимізації її роботи на різних підмножинах даних.

На останньому етапі модель тестується на нових знімках, які не були використані під час навчання. Це дозволяє перевірити здатність моделі до генералізації та її ефективність у реальних умовах. Валідація моделі на тестовій вибірці допомагає перевірити, чи не виникає перенавчання і чи модель дійсно здатна ефективно ідентифікувати переломи на невідомих знімках.

Метод нейромережевої ідентифікації переломів кісток нижніх кінцівок за рентгенівськими знімками є складним і багатоетапним процесом, що включає формування набору даних, попередню обробку зображень, сегментацію, навчання моделей та їх оцінку. Кожен етап має критичне значення для досягнення високої точності моделі, здатної ефективно виявляти переломи та допомагати у медичних діагностиках. Тестування та валідація дозволяють забезпечити надійність і здатність до генералізації, що робить цей метод перспективним інструментом у медицині.

Створена згідно розробленого методу інформаційна система автоматизованої ідентифікації переломів нижніх кінцівок на основі рентгенівських знімків є комплексним програмним продуктом, що включає кілька основних компонентів. Для ефективного реалізації такого проекту необхідно продумати архітектуру системи, яка б враховувала особливості обробки зображень, використання алгоритмів машинного навчання та інтеграції з інтерфейсом користувача.

Схема роботи інформаційної системи представлена на рисунку 3.

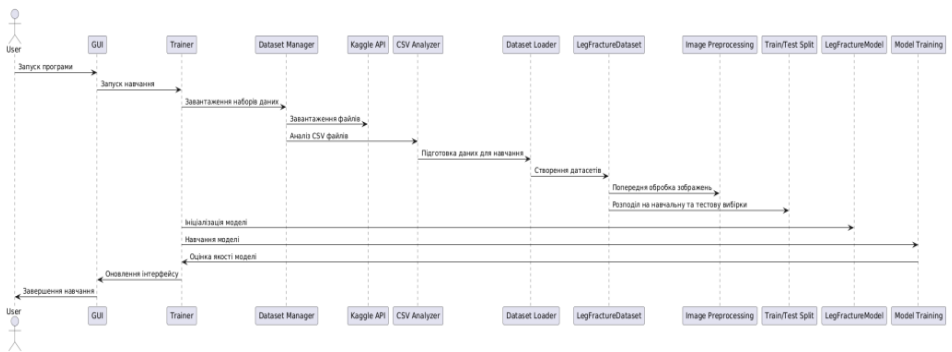


Рисунок 3 – Схема роботи інформаційної системи

Для взаємодії з користувачем використовується графічний інтерфейс (GUI), створений за допомогою Tkinter. Це дозволяє користувачу завантажувати рентгенівські знімки безпосередньо в програму через зручне вікно, вибирати моделі для аналізу та отримувати результати класифікації (рисунк 4).



Рисунок 4 – Інтерфейс користувача

Таким чином, був розроблений метод для ідентифікації переломів кісток нижніх кінцівок за нейромережовим аналізом рентгенівських знімків. Розроблена система нейромережової ідентифікації переломів на рентгенівських знімках показала високі результати точності, чутливості та специфічності, що робить її конкурентоспроможною серед існуючих методів. Проте, для досягнення максимальних результатів необхідна велика кількість даних для навчання та потужне апаратне забезпечення для ефективного використання моделі в реальному світі. Враховуючи порівняння з традиційними та сучасними методами, ця система має значні переваги, зокрема в автоматизації процесу діагностики та підвищеній точності класифікації переломів. Практичне впровадження методу значно скорочує час на діагностику, покращує якість обслуговування пацієнтів і зменшує ризик помилок, що підвищує ефективність роботи медичного персоналу.

Перелік посилань

1. Загальні відомості про переломи URL: <https://www.msmanuals.com/uk/professional/injuries-poisoning/fractures/overview-of-fractures>
2. Рентгенографія: види, показання, переваги URL: <https://iloveyoudoc.com.ua/blog/rentgenografiya-vydy-pokazannya-perevagy-1223/>

3. Види перелому ноги URL: https://consilium-medical.com.ua/ua/catalog_of_services/travmpunkt/lechenie-pereloma-nogi/
4. Kharysh I., Sobko O., Mazurets O. Designing CNN Neural Network Model for Detecting Fractures of Lower Extremities by X-ray Images. The Impact of Scientific Research on the Development of the Modern World. Proceedings of the XLIV International scientific and practical conference. October 23-25, 2024. Dubrovnik, Croatia. 2024. Pp. 91-96.
5. Мазурець О.В., Скрипник Т.К., Ізотов А.В. Фасетковий метод перетворення зображень за допомогою нейромережевого розпізнавання. Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету» серія: Технічні науки. Хмельницький, 2020, №1 (281). – С.119-125.
6. Mazurets O., Uspenska K., Vit R., Tyschenko O. Intelligent System for Determining the Object Attributes Values by Neural Networks Means by Graphic Images in Databases. Current Trends in the Development of Scientific Research in Today's Conditions. Proceedings of XXV International scientific and practical conference. May 29-31, 2024. International Scientific Unity. Florence, Italy. 2024. Pp. 86-91.
7. Mazurets O. V., Klimenko V. I., Molchanova M. O., Sultanov A. V. Object-Oriented Intelligent System for Neural Network Detection of Sugar Crystallization Zones. Global Science: Prospects and Innovations. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. Pp. 198-207.
8. Mazurets O., Zalutka O., Tyschenko O., Bohdanova A. An Approach to Using MobileNet CNN-model for Gesture Recognition. Proceedings of XXIII International Scientific and Practical Conference «Problems of Science and Technology: the Search for Innovative Solutions». May 15-17, 2024. Munich, Germany. 2024. Pp. 59-64.
9. Novak Y., Mazurets O. Practical Application of Method of Automated Personal Identification by Fingerprints Using Convolution Neural Networks. Proceedings of V International Scientific and Practical Conference «Modern strategies of global scientific solutions». December 27-29, 2023. Stockholm, Sweden. International Scientific Unity. 2023. Pp. 136-140.
10. Мазурець О.В., Петровський С.С., Дидо Р.А. Нейромережева модель для ідентифікації особистості за зображенням обличчя у реальному часі Інформаційні технології і автоматизація. Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції. 31 жовтня – 1 листопада 2024 р. Одеса, ОНТУ. 2024. С.655-658.
11. Pokhytun A., Mazurets O., Molchanova M., Tyschenko O. Method for Neural Network Detecting Changed Images of People's Faces Using CNN. New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference. October 21-23, 2024. Marseille, France. 2024. Pp. 35-40.
12. Mazurets O., Molchanova M., Klimenko V., Klopotivskiy D. Datalogic Model for Image Recognition by Convolutional Neural Network Using Cloud Services. Proceedings of XXII International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects». May 8-10, 2024. Oslo, Norway. 2024. Pp. 64-68.