УДК 616-076:004.932

В. О. Лещенко
Н. І. Заболотна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ЦИТОЛОГІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ СКРИНІНГУ РАКУ ШИЙКИ МАТКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проаналізовано сучасні методи візуалізації та підходи автоматизованої обробки цитологічних зображень у задачах скринінгу раку шийки матки. Розглянуто проблеми традиційної мікроскопії, технічні вимоги до оптико-електронних систем та переваги впровадження систем підтримки прийняття рішень. Обґрунтовано необхідність використання методів комп'ютерного зору для стандартизації діагностичного процесу та підвищення достовірності раннього виявлення онкопатологій.

Ключові слова: методи візуалізації, цитологічне зображення, комп'ютерний зір, система оброблення зображень, скринінг раку шийки матки

Abstract

The paper analyzes modern visualization methods and approaches to automated processing of cytological images in cervical cancer screening tasks. The problems of traditional microscopy, technical requirements for optoelectronic systems, and the advantages of implementing decision support systems are considered. The necessity of using computer vision methods to standardize the diagnostic process and increase the reliability of early detection of oncopathologies is substantiated.

Keywords: visualization methods, cytological image, computer vision, image processing system, cervical cancer screening.

Вступ

Рак шийки матки (РШМ) залишається однією з найбільш актуальних медико-соціальних проблем в Україні та світі. Попри наявність ефективних методів ранньої діагностики, показники захворюваності та смертності залишаються високими, що значною мірою зумовлено недоліками в організації та технічному забезпеченні програм скринінгу [1]. Основним методом популяційного скринінгу є цитологічне дослідження (Пап-тест), яке базується на візуальній оцінці морфології клітин епітелію.

Проте традиційна світлова мікроскопія характеризується суттєвим впливом «людського фактора». Втома лікаря-цитолога, необхідність перегляду тисяч клітин в одному мазку та суб'єктивність інтерпретації призводять до діагностичних помилок, зокрема хибнонегативних результатів (пропуску патології), частка яких може сягати 20-30% [2]. В умовах вітчизняної системи охорони здоров'я актуальним завданням є впровадження методів цифровізації та автоматизованого аналізу зображень, які здатні оптимізувати роботу лікаря, виступаючи в ролі інтелектуального асистента [3].

Мета роботи – огляд сучасних засобів візуалізації цитологічних препаратів та основних підходів до їх автоматизованого аналізу в задачах скринінгу раку шийки матки.

Технічні аспекти візуалізації цитологічних препаратів

Якість вхідного зображення є фундаментом для коректної діагностики. У сучасній лабораторній практиці відбувається перехід від аналогового спостереження через окуляр до аналізу цифрових зображень [3]. Критичним параметром технічного забезпечення є роздільна здатність оптико-електронної системи.

Для надійної ідентифікації ознак малігнізації (злоякісності) система повинна забезпечувати візуалізацію субклітинних структур. Згідно з критеріями системи Bethesda, ключові ознаки атипії - це нерівномірність розподілу хроматину, потовщення ядерної мембрани та зміна ядерно-цитоплазматичного співвідношення [4, 5]. Недостатня роздільна здатність камер або використання оптики низького класу призводить до втрати високочастотних деталей зображення (текстури ядра), що унеможливлює розрізнення реактивних змін (запалення) та дисплазії.

Сучасні скануючі системи дозволяють створювати цифрові копії препаратів високої чіткості, проте їхня вартість часто є бар'єром для українських лікарень [2]. Альтернативою є використання гібридних мікроскопів з цифровими камерами високої роздільної здатності, які дозволяють захоплювати окремі поля зору для подальшого комп'ютерного аналізу. Важливим технічним вдосконаленням є використання систем автоматичного фокусування, які компенсують нерівності препарату, забезпечуючи чіткість зображення по всій площині мазка.

Ефективність як візуального, так і автоматизованого аналізу прямо залежить від якості підготовки біоматеріалу. В Україні широко використовуються традиційні мазки на склі, які, на відміну від рідинної цитології (LBC), часто містять артефакти: нашарування клітин, слиз, еритроцити та елементи запалення [1].

Особливу увагу слід приділяти ступеню чистоти піхви, який суттєво впливає на діагностичну цінність зображення. Для алгоритмів комп'ютерного зору, які застосовують для оцінювання патологічних станів III та IV ступенів чистоти піхви, "брудний" фон створює шум, який може призводити до хибного детектування ядер або, навпаки, маскувати атипові клітини. Тому сучасні методи обробки зображень повинні включати етап попередньої фільтрації фону та сепарації об'єктів, щоб виділяти діагностично значущі клітини навіть в умовах вираженого запалення.

Повна заміна лікаря штучним інтелектом на даному етапі є передчасною та юридично неврегульованою. Натомість, найбільш перспективним напрямком є створення систем підтримки прийняття рішень (Computer-Aided Detection/Diagnosis - CAD), які оптимізують робочий процес [3, 5].

Функціональні можливості таких систем включають:

- попередню фільтрацію, під час якої алгоритм аналізує зображення мазка і класифікує його як "імовірно нормальний мазок" або "підозрілий мазок". Це дозволяє лікарю приділяти менше часу рутинним нормам і фокусуватися на складних випадках;
- детекцію зон інтересу, під час якої відбувається автоматичне сканування зображення та виділення (обведення рамкою або підсвічуваввння) ділянки з клітинами, що мають ознаки атипії (збільшені ядра, гіперхромія). Це працює як "другий переглядач", що страхує лікаря від пропуску патології через неуважність;
- кількісний автоматичний розрахунок морфометричних параметрів (площа ядра, периметр, фактор форми), які оком оцінити важко.

Впровадження таких підходів може сприяти стандартизації процесу діагностики та зменшенню впливу суб’єктивних чинників. У складних або сумнівних випадках CAD-система може виконувати роль «другої думки», надаючи лікарю кількісні показники та оцінку впевненості. Висновок системи має рекомендаційний характер і потребує валідації на репрезентативних даних.

Висновки

Огляд показав, що підвищити ефективність засобів проведення скринінгу раку шийки матки можна завдяки поєднанню якісної візуалізації цитологічних препаратів і програмних методів аналізу зображень. Важливо, щоб лабораторії мали оптичні системи та камери з достатньою роздільною здатністю, які дозволяють впевнено оцінювати дрібні зміни ядра і структуру хроматину.

Найбільш практичним напрямом є розробка та створення цифрової системи візуалізації цитологічних зразків на основі відеокамер та підсистем підтримки прийняття рішення , які не замінюють лікаря, а допомагають швидше переглядати препарати, звертають увагу на підозрілі ділянки та зменшують ризик пропуску патологічних змін. У результаті це може підвищити виявлення передракових станів і ранніх стадій, що має пряме значення для своєчасного лікування та збереження здоров’я жінок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**:**

1. Fedorenko Z., Goulak L., Gorokh Ye. et al. *Cancer in Ukraine, 2021–2022: incidence, mortality, prevalence and other relevant statistics.* Bulletin of the National Cancer Registry of Ukraine. No. 24. Kyiv, 2023. URL: https://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_24/PDF_E/bull_eng_24.pdf (дата звернення: 02.02.2026).
2. Rahaman M.M., Li C., Wu X. et al. *A Survey for Cervical Cytopathology Image Analysis Using Deep Learning. IEEE Access,* vol. 8, 2020, pp. 61687–61710. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2983186. URL: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983186 (дата звернення: 02.02.2026).
3. Niazi M.K.K., Parwani A.V., Gurcan M.N. *Digital pathology and artificial intelligence. The Lancet Oncology*, vol. 20, no. 5, 2019, pp. e253–e261. DOI: 10.1016/S1470-2045(19)30154-8. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31044723/ (дата звернення: 02.02.2026).
4. Solomon D., Davey D., Kurman R. et al. *The 2001 Bethesda System: terminology for reporting results of cervical cytology. JAMA*, vol. 287, no. 16, 2002, pp. 2114–2119. DOI: 10.1001/jama.287.16.2114. URL: https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/194863 (дата звернення: 02.02.2026).
5. Nayar R., Wilbur D.C. *The Bethesda System for Reporting Cervical Cytology: Definitions, Criteria, and Explanatory Notes.* 3rd ed. Cham: Springer; 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-11074-5. URL: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-11074-5 (дата звернення: 02.02.2026).

Лещенко Владислав Олександрович **–** аспірант групи G22-25a, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lgl90pro@gmail.com

Заболотна Наталія Іванівна **–** д.т.н, доцент, професор кафедри біомедичної інженерії та оптикоелектронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: natalia.zabolotna@vntu.edu.ua

Leshchenko Vladyslav O. **–** Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: lgl90pro@gmail.com

Zabolotna Natalia I. **–** Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: natalia.zabolotna@vntu.edu.ua