

МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПЛАЦЕНТИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Дніпровський державний медичний університет (м. Дніпро, Україна)

Анотація. Плацента є ключовим органом фето-материнського комплексу, морфологічний стан якого відображає перебіг вагітності та перинатальні наслідки. Традиційні методи світлооптичної мікроскопії й морфометрії залишаються «золотим стандартом» морфологічної оцінки, однак характеризуються значною трудомісткістю та суб'єктивністю. Розвиток цифрової патології та технологій штучного інтелекту (ШІ), зокрема глибокого навчання, відкрив нові можливості для автоматизованого аналізу гістологічних препаратів плаценти й виявлення змін, пов'язаних із плацентарною дисфункцією та ускладненнями вагітності. Метою роботи є узагальнення сучасних літературних даних щодо застосування алгоритмів штучного інтелекту в морфологічному аналізі плаценти людини. Проаналізовано дослідження 2020–2025 рр., присвячені використанню методів глибокого навчання та комп'ютерного зору для кількісної оцінки структурних компонентів плаценти й ідентифікації уражень при прееклампсії та інших ускладненнях вагітності. Показано, що застосування ШІ підвищує об'єктивність і відтворюваність морфологічної оцінки та розширює можливості морфометричного аналізу. Водночас окреслено основні обмеження впровадження цих підходів, зокрема необхідність стандартизації дослідницьких протоколів і клінічної валідації алгоритмів ШІ.

Ключові слова: плацента, морфологія, цифрова патологія, штучний інтелект, глибоке навчання, прееклампсія.

Abstract. The placenta is a key organ of the feto-maternal unit, and its morphological status reflects the course of pregnancy and perinatal outcomes. Conventional light microscopy and morphometry remain the gold standard for morphological assessment; however, they are labor-intensive and partly subjective. The development of digital pathology and artificial intelligence (AI), particularly deep learning, has introduced new opportunities for the automated analysis of placental histological specimens and for the detection of changes associated with placental dysfunction and pregnancy complications. The aim of this review is to summarize current literature data on the application of artificial intelligence algorithms in the morphological analysis of the human placenta. Studies published between 2020 and 2025 were reviewed, focusing on the use of deep learning and computer vision methods for the quantitative assessment of placental structural components and for the identification of lesions associated with preeclampsia and other pregnancy complications. It is shown that the use of AI improves the objectivity and reproducibility of morphological assessment and expands the possibilities of morphometric analysis. At the same time, the main limitations of implementing these approaches are outlined, including the need for standardized research protocols and rigorous clinical validation of AI algorithms.

Key words: placenta, morphology, digital pathology, artificial intelligence, deep learning, preeclampsia.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Роботу виконано в рамках планової науково-дослідної роботи кафедри анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії Дніпровського державного медичного університету «Морфофункціональний стан органів і тканин експериментальних тварин і людини в онтогенезі в нормі та під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників», номер державної реєстрації 0117U003181.

Вступ.

Плацента є транзиторним органом, що забезпечує трофічну, ендокринну, імунну функції та газообмін між материнським і плодово-плацентарним кровообігом. Морфологічні зміни ворсинчастого хоріона, інтервілярного простору й судинного русла відображають ступінь плацентарної дисфункції та пов'язані з розвитком прееклампсії, внутрішньоутробної гіпоксії, затримки росту плода й перинатальної захворюваності [1].

Традиційний морфологічний аналіз плаценти ґрунтується на світлооптичному дослідженні й ручній морфометрії та значною мірою залежить від досвіду патоморфолога [1, 2]. Перехід до цифрової патології із застосуванням технологій whole slide imaging (WSI) відкрив нові можливості для автоматизованої об-

робки гістологічних зображень і використання методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту [3, 4].

Останні дослідження демонструють високу ефективність глибоких нейронних мереж у сегментації та класифікації плацентарних структур, кількісній морфометричній оцінці й виявленні патернів, характерних для прееклампсії та інших ускладнень вагітності [4–6]. У сучасних оглядах з перинатальної цифрової патології підкреслюється, що стандартизація морфологічної оцінки плаценти є пріоритетним напрямом розвитку цієї галузі [2, 7].

Мета дослідження.

Систематизувати сучасні наукові дані щодо можливостей та обмежень застосування технологій штучного інтелекту в морфологічному аналізі плаценти людини, з акцентом на цифрову патологію та глибоке навчання

Об'єкт і методи дослідження.

Об'єктом дослідження є морфологічний аналіз плаценти людини в умовах застосування цифрової патології та алгоритмів штучного інтелекту.

Методом дослідження обрано огляд наукової літератури. Пошук джерел проводили в базах даних Scopus, Web of Science, Google Scholar та національних електронних бібліотеках за період 2020–2025 рр. за ключовими словами: *placenta, placental pathology,*

digital pathology, artificial intelligence, deep learning, whole slide imaging, preeclampsia, morphology, morphometry.

До огляду включали оригінальні дослідження та оглядові публікації, у яких застосовували методи цифрової патології та/або алгоритми ШІ з наведенням кількісних показників ефективності моделей або порівнянням із експертною морфологічною оцінкою [1-7].

Основна частина.

1. Цифрова патологія плаценти як основа застосування ШІ.

Впровадження технології WSI забезпечило перехід від аналогового аналізу гістологічних препаратів плаценти до високоякісного цифрового середовища з можливістю автоматизованої морфометрії та обробки великих масивів даних [1, 3]. Показано ефективність використання цифрових зображень для кількісної оцінки ворсинчастої архітектури, судинізації, стану трофобласту та фібриноїдних нашарувань [1].

Цифрова патологія розглядається як ключова платформа для формування стандартизованих та анотованих датасетів, необхідних для навчання алгоритмів глибокого навчання [3, 7].

2. Глибоке навчання в аналізі гістоархітектури плаценти.

Сучасні моделі глибокого навчання дають змогу автоматизувати сегментацію ворсинчастого хоріона, інтервілярного простору та судинного русла. Перспективним є застосування графових моделей типу cell-to-tissue graphs, зокрема підходу HAPPY, що поєднує клітинний і тканинний рівні аналізу [4].

У дослідженнях показано можливість ідентифікації преекламптичних плацент на основі WSI з показниками точності, порівнянними з експертною діагностикою [5]. Окрім цього, активно розвиваються моделі для мультикласового розпізнавання

плацентарних патологій та оцінки гестаційного віку [4, 6].

3. Порівняння ШІ-підходів із класичною морфологією.

Класичні морфологічні дослідження описують значні структурні зміни плаценти при ускладненнях вагітності, включно з порушеннями васкуляризації, потовщенням трофобласту, зростанням площі фібриноїду та збільшенням кількості синцитіальних вузликів [6, 8]. Алгоритми ШІ здатні автоматизувати кількісну оцінку цих параметрів, підвищуючи об'єктивність морфологічного аналізу [4-6].

4. Обмеження та перспективи впровадження ШІ.

Застосування ШІ у морфології плаценти обмежується відсутністю уніфікованих протоколів підготовки гістологічних препаратів, дефіцитом великих анотованих вибірок і проблемами інтерпретованості моделей [2, 7, 9]. Тому ШІ розглядається як допоміжний інструмент патоморфолога, а не як його заміна.

Перспективними напрямками є розвиток Explainable AI, мультицентрових датасетів та інтеграція ШІ-систем у перинатальну практику [7, 9, 10].

Висновки.

Плацента є інформативним об'єктом морфологічного аналізу, а її структурні зміни мають важливе значення у розвитку прееклампсії та інших ускладнень вагітності. Розвиток цифрової патології й технологій whole slide imaging створив основу для широкого застосування методів штучного інтелекту в морфології плаценти. Моделі глибокого навчання демонструють ефективність у сегментації плацентарних структур і виявленні патологічних патернів, порівнянню з експертною оцінкою. Подальші дослідження мають бути спрямовані на стандартизацію протоколів, розвиток пояснюваних моделей та клінічну валідацію ШІ-підходів у перинатальній патології.

Література

1. Marletta S, Ferri N, Gentile L, D'Amati A, Giordano G, Rossi R. Application of digital imaging and artificial intelligence to pathology of the placenta. *Pediatr Dev Pathol.* 2023;26(1):5-12. DOI: [10.1177/10935266221137953](https://doi.org/10.1177/10935266221137953).
2. Hutchinson JC, Picarsic J, McGenity C, Treanor D, Williams B, Sebire NJ. Whole slide imaging, artificial intelligence, and machine learning in pediatric and perinatal pathology: current status and future directions. *Pediatr Dev Pathol.* 2025;28(2):91-98. DOI: [10.1177/10935266241299073](https://doi.org/10.1177/10935266241299073).
3. d'Amati A, Baldini GM, Difonzo T, Dellino M, Cerbone M, Caruso G. Artificial intelligence in placental pathology: new diagnostic imaging tools in evolution and in perspective. *J Imaging.* 2025;11(4):110. DOI: [10.3390/jimaging11040110](https://doi.org/10.3390/jimaging11040110).
4. Vanea C, Džigurski J, Rukins V, Dodi O, Siigur S, Marom EM, et al. Mapping cell-to-tissue graphs across human placenta histology whole slide images using deep learning with HAPPY. *Nat Commun.* 2024;15:2710. DOI: [10.1038/s41467-024-46986-2](https://doi.org/10.1038/s41467-024-46986-2).
5. Jung YM, Park S, Ahn Y, Kim H, Kim EN, Hye EP, et al. Identification of preeclamptic placenta in whole slide images using artificial intelligence placenta analysis. *J Korean Med Sci.* 2024;39:e271. DOI: [10.3346/jkms.2024.39.e271](https://doi.org/10.3346/jkms.2024.39.e271).
6. Tertyshnyk DYu, Prokopiuk OS, Prokopiuk VYu, Lazurenko VV, Borzenkova IV, Chernyak OL. Morphological features of placenta in placental dysfunction associated with diabetes mellitus. *Ukr J Med Biol Sport.* 2022;7(1):79-85. DOI: [10.26693/jmbs07.01.079](https://doi.org/10.26693/jmbs07.01.079).
7. Stanek J. Placental pathology in the era of digital pathology. *Placenta.* 2021;104:56-63.
8. Salafia CM, Charles AK, Maas EM. Placental structure in fetal growth restriction. *Placenta.* 2019;84:20-26.
9. Rajaraman S, Antani SK. Deep learning in histopathology: challenges and future directions. *Med Image Anal.* 2020;65:101786. DOI: [10.1016/j.media.2020.101786](https://doi.org/10.1016/j.media.2020.101786).
10. Chen PHC, Gadepalli K, MacDonald R, Liu Y, Knaflitz TN, Korfiatis P, et al. An overview of deep learning in medical imaging. *Nat Biomed Eng.* 2019;3:753-772. DOI: [10.1038/s41551-019-0449-0](https://doi.org/10.1038/s41551-019-0449-0).