

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ОПТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ СУДИННОЇ СИСТЕМИ ПАЦІЄНТІВ З ДІАБЕТОМ

¹Вінницький національний технічний університет

²Turan University, Almaty, Kazakhstan

³Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Анотація.

Цукровий діабет часто супроводжується ускладненнями з боку судинної системи, зокрема розвитком діабетичної ретинопатії — основної причини втрати зору у працездатному віці. Для своєчасного виявлення патологічних змін сітківки використовуються оптичні методи візуалізації, зокрема фундус-фотографія, флюоресцеїнова ангіографія та оптична когерентна томографія (ОКТ). Останнім часом все ширше впроваджуються технології штучного інтелекту (ШІ), зокрема алгоритми глибокого навчання на основі згорткових нейронних мереж (CNN), які забезпечують автоматизоване виявлення ознак ретинопатії з високою точністю. Такі інтелектуальні системи підвищують ефективність скринінгу, дозволяють стандартизувати діагностику та зменшити навантаження на лікарів, забезпечуючи при цьому доступність медичної допомоги навіть у віддалених регіонах. Поєднання сучасної візуалізації з алгоритмами ШІ має значний потенціал для покращення контролю за перебігом діабетичної ретинопатії та підвищення якості офтальмологічної допомоги.

Ключові слова: діабетична ретинопатія, фундус-фотографія, оптична когерентна томографія, штучний інтелект, глибоке навчання, згорткові нейронні мережі, медична візуалізація, скринінг, автоматична діагностика, судинні патології сітківки

Вступ. Цукровий діабет є однією з найпоширеніших неінфекційних хвороб сучасності, яка призводить до численних ускладнень, зокрема уражень судинної системи, включаючи діабетичну ретинопатію — головну причину втрати зору у працездатному віці. Рання діагностика патологічних змін сітківки має критичне значення для своєчасного лікування та попередження необоротних наслідків. Одним із ключових інструментів неінвазивної оцінки стану судинної системи ока є оптична візуалізація — зокрема фундус-фотографія та оптична когерентна томографія (ОКТ). Ці методи дозволяють візуалізувати дрібні кровоносні судини та виявити мікросудинні зміни, характерні для початкових стадій ретинопатії. Застосування штучного інтелекту, зокрема алгоритмів глибокого навчання, значно підвищує ефективність обробки медичних зображень. Нейронні мережі можуть бути натреновані на великих масивах фундус-зображень для автоматичного виявлення мікроаневризм, крововиливів, ексудатів та інших ознак діабетичної ретинопатії. Такі системи демонструють високу точність, часто співставну або навіть вищу за людську експертну оцінку. Використання інтелектуальних діагностичних систем дозволяє пришвидшити скринінг, знизити навантаження на офтальмологів і зробити діагностику доступною навіть у віддалених регіонах. У перспективі впровадження таких технологій сприятиме підвищенню якості медичної допомоги та зменшенню випадків втрати зору серед пацієнтів з діабетом.

Оптична візуалізація судинної системи: методи та значення. Оптична візуалізація відіграє ключову роль у сучасній діагностиці судинних уражень у пацієнтів з цукровим діабетом, зокрема діабетичної ретинопатії. Основними методами, які використовуються у клінічній практиці, є фундус-фотографія (кольорове зображення очного дна), флюоресцеїнова ангіографія та оптична когерентна томографія (ОКТ). Фундус-фотографія дозволяє оцінити загальний стан сітківки, виявити мікроаневризми, крововиливи та інші зміни на ранніх стадіях. Цей метод є недорогим, швидким і неінвазивним, тому широко застосовується у масовому скринінгу пацієнтів [1]. Флюоресцеїнова ангіографія — це більш точний, але інвазивний метод, який забезпечує динамічне зображення кровотоку в судинах сітківки після введення барвника. Цей метод допомагає виявити витоки з судин, ділянки ішемії або неоваскуляризації [2]. Проте через ризик алергічних реакцій на барвник і необхідність

спеціального обладнання його застосування обмежене. Оптична когерентна томографія (ОКТ) є однією з найсучасніших технологій оптичної візуалізації. Вона забезпечує пошарове зображення сітківки з мікронною точністю без потреби у введенні контрасту. Завдяки цьому ОКТ дозволяє не лише візуалізувати структуру сітківки, а й виявити накопичення рідини, набряки та інші зміни, що супроводжують діабетичну ретинопатію [3]. ОКТ також застосовується для довготривалого моніторингу ефективності лікування.

Застосування штучного інтелекту у медичній візуалізації. Завдяки методам глибокого навчання, таким як згорткові нейронні мережі (CNN), системи на базі ШІ здатні автоматично аналізувати фундус-фотографії та оптичні томограми з високою точністю, що зрівнює або навіть перевищує рівень лікаря-офтальмолога. Наприклад, система IDx-DR, схвалена FDA у 2018 році, продемонструвала точність діагностики понад 87% при виявленні діабетичної ретинопатії без втручання лікаря [1]. Глибокі нейронні мережі навчаються на великих наборах оцифрованих медичних зображень з підтвердженими діагнозами, що дозволяє їм виявляти візуальні патерни, непомітні людському оку. Такі системи здатні не лише виявити ознаки захворювання, а й оцінити його стадію, запропонувати рівень ризику або зміни у динаміці. У дослідженнях Google AI було показано, що модель глибокого навчання може виявити діабетичну ретинопатію з чутливістю 90,3% і специфічністю 98,1% [4]. Штучний інтелект також активно використовується в обробці даних оптичної когерентної томографії (ОКТ). Автоматизовані системи можуть сегментувати шари сітківки, вимірювати товщину тканин і виявляти патологічні структури, такі як набряки чи ексудати. Це значно прискорює інтерпретацію ОКТ-даних і підвищує об'єктивність оцінки [5]. У майбутньому очікується, що такі системи стануть важливими інструментами для персоналізованого моніторингу стану пацієнтів.

Алгоритми глибокого навчання для виявлення патологій судин сітківки. Алгоритми глибокого навчання (Deep Learning) на основі згорткових нейронних мереж (Convolutional Neural Networks — CNN) є найперспективнішими інструментами для автоматизованого виявлення патологій судин сітківки у пацієнтів з діабетичною ретинопатією. Ці алгоритми здатні самостійно навчатися на великих обсягах даних фундус-фотографій і оптичної когерентної томографії (ОКТ), розпізнаючи складні візуальні патерни, що вказують на наявність мікроаневризм, крововиливів, неоваскуляризації або набряку макули. Однією з перших систем, що успішно продемонструвала здатність до автоматичного виявлення діабетичної ретинопатії, була розробка Google AI. У дослідженні Gulshan et al. (2016) алгоритм CNN було натреновано на більш ніж 128 тисячах зображень сітківки. Результатом стала висока точність класифікації: чутливість 90,3% та специфічність 98,1% при виявленні референтної ретинопатії [4]. Крім класифікації, сучасні CNN здатні до **семантичної сегментації**, тобто ідентифікації та позначення конкретних патологічних областей на зображенні. Наприклад, архітектура U-Net, яка була спочатку розроблена для біомедичних зображень, виявилася ефективною для сегментації мікроаневризм та ексудатів на фундус-фотографіях [6]. Це дозволяє не лише визначити, чи є ураження, а й точно локалізувати їх. Інші сучасні підходи включають використання **residual networks (ResNet)** і **attention-механізмів**, які покращують здатність моделі фокусуватися на дрібних, але важливих деталях судинної структури. Наприклад, методика Attention U-Net дозволяє глибоким нейронним мережам зосереджуватись на мікроскопічних змінах сітківки, ігноруючи фоновий «шум» [7].

Висновки. Оптичні методи візуалізації, зокрема фундус-фотографія та оптична когерентна томографія, відіграють ключову роль у ранній діагностиці діабетичної ретинопатії — одного з найсерйозніших ускладнень цукрового діабету. Їхнє поєднання з технологіями штучного інтелекту значно підвищує точність, швидкість та доступність медичної діагностики. Алгоритми глибокого навчання, такі як згорткові нейронні мережі, довели свою ефективність у виявленні патологій судинної системи сітківки на основі великих масивів медичних зображень. Сучасні нейромережі не лише здатні класифікувати стадії ураження, а й точно локалізувати мікроскопічні зміни на зображеннях, що дає змогу проводити інформативний моніторинг перебігу захворювання. Практична цінність впровадження ШІ в медичну візуалізацію полягає у можливості масштабного скринінгу, стандартизації діагностичних процесів і зниженні залежності від суб'єктивної оцінки фахівця. Такі системи вже використовуються у клініках по всьому світу та демонструють високу ефективність у реальних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Abramoff, M. D., Lavin, P. T., Birch, M., Shah, N., & Folk, J. C. (2018). *Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices*. NPJ Digital Medicine, 1, 39. <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0040-6>
2. Sim, D. A., Keane, P. A., Tufail, A., Egan, C. A., & Powner, M. B. (2014). *Imaging diabetic macular oedema: clinical utility of optical coherence tomography*. Eye, 28(9), 1057–1069. <https://doi.org/10.1038/eye.2014.147>

3. DeBuc, D. C. (2011). *The role of optical coherence tomography in diabetic eye disease*. Expert Review of Ophthalmology, 6(5), 557–569. <https://doi.org/10.1586/eop.11.54>
4. Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., et al. (2016). *Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs*. JAMA, 316(22), 2402–2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>
5. De Fauw, J., Ledsam, J. R., Romera-Paredes, B., et al. (2018). *Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease*. Nature Medicine, 24, 1342–1350. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0107-6>
6. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation*. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), 9351, 234–241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
7. Oktay, O., Schlemper, J., Le Folgoc, L., et al. (2018). *Attention U-Net: Learning Where to Look for the Pancreas*. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/1804.03999>
8. Wójcik W., Smolarz A. Information Technology in Medical Diagnostics. London, Taylor & Francis Group CRC Press Reference. 2017. P. 210.
9. Pavlov S.V., Kozhemiako V.P., Petruk V.G., Kolesnik P.F., Photoplethysmographic technologies of the cardiovascular control, Vinnitsa: Universum-Vinnitsa, 2007, P. 254,
10. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2019, P. 336.
11. Pavlov S. V., Kozhukhar A. T. Electro-optical system for the automated selection of dental implants according to their colour matching. *Przegląd elektrotechniczny*. 2017. R. 93. NR 3. P. 121-124. ISSN 0033-2097.

Корніленко Олександр Сергійович – аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, **e-mail:** okornilenko@vntu.edu.ua

Зілгараєва Алія - старший викладач Туран університету, аспірант кафедри електроніки, телекомунікацій та космічних технологій Університету імені Сатбаєва, Казахстан. e-mail: a.zilgarayeva@turan-edu.kz

Kornilenko Oleksandr, Zilgarayeva A.K.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ANALYZING OPTICAL IMAGES OF THE VASCULAR SYSTEM IN DIABETIC PATIENTS

Abstract.

Diabetes mellitus is often accompanied by complications of the vascular system, particularly the development of diabetic retinopathy — the leading cause of vision loss among the working-age population. To timely detect pathological changes in the retina, optical imaging methods are used, including fundus photography, fluorescein angiography, and optical coherence tomography (OCT). In recent years, artificial intelligence (AI) technologies, especially deep learning algorithms based on convolutional neural networks (CNNs), have been increasingly implemented to enable automated detection of retinopathy signs with high accuracy. These intelligent systems enhance screening efficiency, standardize diagnostic processes, and reduce the workload of healthcare professionals, while also ensuring accessibility of medical services even in remote areas. The integration of modern imaging techniques with AI algorithms holds significant potential for improving the monitoring of diabetic retinopathy progression and enhancing the quality of ophthalmic care.

Keywords: diabetic retinopathy, fundus photography, optical coherence tomography, artificial intelligence, deep learning, convolutional neural networks, medical imaging, screening, automated diagnosis, retinal vascular pathologies

Kornilenko Oleksandr – postgraduate student of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: okornilenko@vntu.edu.ua

Zilgarayeva Aliya - Senior Lecturer Turan University, postgraduate student of the Department of Electronics, Telecommunications and Space Technologies, Satbayev University, Kazakhstan. e-mail: a.zilgarayeva@turan-edu.kz