



## Wykorzystanie sztucznej inteligencji w okulistycznej praktyce pediatrycznej

Mirosława Grałek, Anna Niwald

Oddział Okulistyki Dziecięcej Uniwersyteckiego Centrum Pediatrii im. M. Konopnickiej SP ZOZ Centralny Szpital Kliniczny Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

### STRESZCZENIE

Sztuczna inteligencja rozwija się szybko w ostatnich latach i trafia do wielu obszarów działalności. W okulistyce sztuczna inteligencja jest stosowana od czasu dostępności informacji cyfrowych w tej dziedzinie medycyny, takich jak kolorowy obraz dna oka, optyczna tomografia koherentna, komputeryzacja pola widzenia i inne. Te informacje oparte są na olbrzymiej liczbie danych tworzących bazę do uczenia maszynowego i uczenia głębokiego. Okulistyka dziecięca jest gałęzią okulistyki, która także coraz szerzej korzysta z możliwości stworzonych przez sztuczną inteligencję. Celem

sztucznej inteligencji jest wczesne wykrycie chorób, w których wczesne podjęcie leczenia może zapobiec trwałemu obniżeniu ostrości wzroku. Badania przesiewowe u dzieci z wykorzystaniem sztucznej inteligencji mają szczególną wartość w zapobieganiu i monitorowaniu retinopatii wcześniaków, zaćmy i krótkowzroczności. Sztuczna inteligencja jest także przydatna w postępowaniu po leczeniu operacyjnym.

**SŁOWA KLUCZOWE:** sztuczna inteligencja, dziecko, choroby oczu, diagnostyka, profilaktyka

Sztuczna inteligencja (SI), mimo że jest znana od ponad pół wieku, stanowi aktualnie coraz częstszy temat dociekań i rozpraw zarówno o charakterze akademickim, jak i licznych zastosowań praktycznych w wielu dziedzinach życia, w tym w wielofunkcyjnych platformach sztucznej inteligencji użytkowanych w medycynie. Gwałtowny rozwój SI w ostatnim dziesięcioleciu wiąże się z rozwojem zaawansowanych metod przetwarzania obrazu i wprowadzaniem nowych technik komputerowych. Prawdopodobnie to określenie zostało po raz pierwszy użyte przez amerykańskiego informatyka Johna McCarthy'ego, który w 1955 r. sprecyzował je jako „konstruowanie maszyn, o których działaniu dałoby się powiedzieć, że są podobne do ludzkich przejawów inteligencji” [1]. Współcześnie SI jest definiowana jako zdolność systemu do prawidłowej interpretacji danych zewnętrznych, uczenia się na podstawie posiadanych danych oraz wykorzystywania tych doświadczeń do osiągnięcia konkretnych celów i zadań poprzez elastyczne dostosowanie do realizacji podejmowanych problemów [2]. Obrazy cyfrowe, dostarczające odpowiednio dużo (tysiące, a nawet miliony) morfologicznych zbiorów danych, mogą być szybko i nieinwazyjnie analizowane w sposób kompleksowy z użyciem SI. Wpływ na uzyskane wyniki ma nie tylko liczba badanych danych (zbiorów),

ale także ich reprezentatywność dla rzeczywistych obrazów przekazanych do oceny przez sztuczną inteligencję. Podstawowymi składowymi segmentami współczesnej SI, niezależnie od stopnia jej złożoności i obszaru zastosowania są dwa elementy: uczenie maszynowe (*machine learning* – ML), zwane też samouczeniem się maszyn lub systemami uczącymi się i uczenie głębokie (*deep learning* – DL). Uczenie maszynowe jest interdyscyplinarną nauką ze szczególnym uwzględnieniem takich dziedzin jak informatyka (m.in. programowanie, robotyka, bazy danych) oraz statystyka (m.in. statystyczna analiza danych). Głównym jego celem jest praktyczne zastosowanie dokonań w dziedzinie SI do stworzenia automatycznego systemu potrafiącego doskonalić się za pomocą zgromadzonego doświadczenia (czyli danych) i nabywania na tej podstawie nowej wiedzy oraz podejmowania decyzji w oparciu o adekwatne algorytmy. Głębokie uczenie jest metodą, której komputer „uczy się” samodzielnie, na podstawie bazy posiadanych wyselekcjonowanych danych, bez bezpośredniego wpływu człowieka. Sztuczna inteligencja, korzystająca zarówno z maszynowego, jak i głębokiego uczenia, jest obecnie praktykowana także w różnych specjalnościach medycznych. Powszechne przyjęcie elektronicznej dokumentacji medycznej zaowocowało gromadzeniem ogromnej puli

### ADRES DO KORESPONDENCJI

prof. dr hab. n. med. Mirosława Grałek, Oddział Okulistyki Dziecięcej Uniwersyteckiego Centrum Pediatrii im. M. Konopnickiej SP ZOZ Centralny Szpital Kliniczny UM w Łodzi, ul. Sporna 36/50, 91-738 Łódź, e-mail: mirosława.gralek@wp.pl

danych klinicznych, która jest z powodzeniem wykorzystywana do głębokiego uczenia.

Okulistyka nie pozostaje w tyle we wdrażaniu tych zautomatyzowanych technik, SI jest coraz szerzej doceniana w diagnostyce, profilaktyce i terapii chorób oczu zarówno na świecie, jak i w Polsce. Ostatnie badania wykazały potencjał systemów SI, zwłaszcza w dziedzinie rozpoznawania obrazów, które są nieodłącznym atrybutem oceny okulistycznej. Sztuczna sieć neuronowa naśladuje ścieżkę ludzkiego mózgu do identyfikacji obiektów poprzez uczenie się cech patologicznych z zestawów posiadanych zbiorów obrazów cyfrowych. Wykazano, że w porównaniu z konwencjonalnymi technikami, maszynowe i głębokie uczenie osiąga znacznie większą dokładność niż metody klasyczne, chociaż urządzenia obecnej generacji nie są jeszcze w pełni niezawodne. Głębokie uczenie znalazło zastosowanie w analizie obrazów kolorowej fotografii dna oka (płamki, tarczy nerwu wzrokowego), optycznej tomografii koherentnej, obrazów z lampy szczelinowej, obrazów warstw filmu łzowego, zautomatyzowanego pola widzenia, a nawet zwykłych fotografii oka. Metody oparte na uczeniu maszynowym, a w szczególności na uczeniu głębokim są w stanie identyfikować, lokalizować i oceniać wyróżniki patologiczne w prawie każdej chorobie płamki siatkówki i pozostałej siatkówki [3].

U dorosłych głębokie uczenie jest najczęściej wykorzystywane w wykrywaniu retinopatii cukrzycowej, obrzęku płamki i zwyrodnienia płamki siatkówki związanego z wiekiem, i w jaskrze [4–7]. W jaskrze SI jest przydatna przede wszystkim do rozróżnienia, na podstawie dostępnych, charakterystycznych zbiorów obrazów, prawidłowej tarczy nerwu wzrokowego od patologicznej – jaskrowej – i do wykrywania progresji zmian w polu widzenia, drogą analizy wzorców (archetypów) przestrzennych u badanych pacjentów, w kolejnych latach obserwacji [8–11]. W polskim piśmiennictwie w 2020 r. ukazał się artykuł wskazujący na duże możliwości zastosowania SI w badaniach przesiewowych w profilaktyce jaskry u dorosłych, z wykorzystaniem kolorowego obrazowania dna oka i ciśnienia wewnątrzgałkowego, bez udziału personelu medycznego [12]. W ostatnich latach pojawiają się prace dotyczące stosowania SI w diagnostyce i prognozowaniu przebiegu stanów chorobowych przedniego odcinka gałki ocznej [13]. Ocena obrazów przedniej części gałki ocznej jest standaryzowana wg ustalonych algorytmów (zestawów danych), analizowanych w 10-stopniowej skali (10 odnosi się do ocen najlepszych, 0 – do najgorszych). Badania dotyczą najczęściej spojówki i filmu łzowego (problemy suchego oka) oraz patologii rogówki.

Okulistyka pediatryczna jest gałęzią okulistyki, która w ostatnich latach, także coraz szerzej korzysta z możliwości stworzonych przez SI ze względu na specyfikę tej dziedziny (podspecjalności) łączącej się z młodym wiekiem pacjenta i problemami z tym związanymi [14–15]. Badanie okulistyczne dzieci, szczególnie najmłodszych, często niemowląt, jest utrudnione ze względu na brak współpracy, kontaktu werbalnego z małym pacjentem; badanie w znieczuleniu ogólnym nie zawsze jest dostępne. Nie bez znaczenia są także niedobory

ry kadrowe lekarzy wyspecjalizowanych w okulistyce dziecięcej i konieczność posiadania kosztownego sprzętu używanego do badań narządu wzroku u małych dzieci. Te ograniczenia występują w różnym stopniu w krajach o rozwiniętej opiece medycznej i w krajach o mniejszych możliwościach w tej dziedzinie.

Badania przesiewowe u dzieci dotyczące ostrości wzroku i określające przyczyny zaburzeń widzenia są podstawowymi działaniami w profilaktyce okulistycznej. Przeprowadzone odpowiednio wcześnie, w określonych terminach, pozwalają na szybkie rozpoznanie choroby i podjęcie działań leczniczych, które mogą zapobiec obniżeniu lub utracie ostrości wzroku i nie dopuścić do inwalidztwa wzrokowego w przyszłości. Około 70–80% z 19 milionów dzieci na świecie dotyka niepełnosprawności wzrokowej w następstwie choroby, której można zapobiec lub ją wyleczyć, jeśli zostałaby wykryta wystarczająco wcześnie [14]. Personalna (indywidualna), specjalistyczna ocena narządu wzroku może być subiektywna, ma to związek z interpretacją wyniku badania, który może różnić się w drobiazgach, nawet jeśli badanie jest prowadzone przez wytrawnych okulistów zajmujących się problemami narządu wzroku u dzieci. Powstałe rozbieżności mogą mieć znaczenie w podjęciu decyzji o leczeniu. Ta niejednakowość opisu obrazów i opinii może występować szczególnie w chorobach o złożonym obrazie klinicznym i dużej dynamice zmian. Wprowadzenie systemu opartego na zasadach SI pozwala uniknąć wyzwania związanego z subiektywną oceną efektów wizualnych, jak i innych wymienionych trudności w diagnostyce okulistycznej pacjentów pediatrycznych. Celem projektu TrackAI przygotowanego i wdrażanego przez Pueyo i wsp. jest opracowanie systemu identyfikacji dzieci z zaburzeniami widzenia [16]. Program zawiera dwa główne elementy: nowatorski test wizualny z użyciem sieci neuronowej, zainstalowanej w urządzeniu cyfrowym DIVE (*Device for an Integral Visual Examination*), dostosowany do wieku dziecka i jego fizjologicznych percepcji wzrokowych oraz algorytmy SI, działające w narzędziu komputerowym (smartfonie), dokonującym automatycznej analizy danych wizualnych zebranych przez DIVE. Algorytmy SI są użyte, by przezwyciężyć trudności związane z interpretacją wyników kompleksowej oceny wzroku. Jest to wielośrodkowe badanie, w którym co najmniej pięć ośrodków znajduje się w pięciu zróżnicowanych geograficznie ośrodkach badawczych obejmujących Europę, USA i Azję. Badanie służy do wyodrębnienia dzieci z obniżoną ostrością wzroku i określenia przyczyn tego zjawiska. Obejmuje dzieci w wieku od 6 miesięcy do 14 lat, zarówno z prawidłowym, jak i zaburzonym rozwojem widzenia, z udziałem co najmniej 2000 pacjentów, których wyniki zostaną włączone w „uczenie” systemu SI. Do fazy walidacji jest włączonych ponad 200 pacjentów z różnych grup wiekowych, zarówno z prawidłowym rozwojem wzroku, jak i różnymi patologiami wzrokowymi. Porównanie wyników uzyskanych z pomocą SI i indywidualnej oceny, jest możliwe dzięki równoległej kompleksowej diagnostyce okulistycznej, prowadzonej przez doświadczonych okulistów. Projekt TrackAI jest

w trakcie realizacji. Nie tylko twórcy projektu wiążą z nim duże nadzieje.

Retinopatia wcześniaków (*retinopathy of prematurity* – ROP) stanowi niezmiennie ważny problem okulistyki dziecięcej, związany z przedterminowym porodem i jest kolejnym potwierdzeniem wartości SI w rozpoznaniu i leczeniu oraz monitorowaniu chorób oczu wieku dziecięcego. Na całym świecie ROP jest główną przyczyną pogorszenia widzenia w dzieciństwie, występuje z częstością 6–18%, w tym u 9% wcześniaków doprowadza do trwałej utraty wzroku [4], przy wzrastającej liczbie coraz bardziej niedojrzałych wcześniaków, u których może rozwinąć się ciężka postać ROP. Wczesne leczenie ma kluczowe znaczenie dla zachowania widzenia. Obraz kliniczny ROP, uwzględniający usytuowanie zmian chorobowych, ich rozległość i stopień zaawansowania oraz stan naczyń siatkówki jest istotnym kryterium w podejmowaniu decyzji o leczeniu i rodzaju stosowanej terapii. Wskazaniem do leczenia jest stwierdzenie obecności ściśle zdefiniowanych zmian oraz objawu „przed plus” lub „plus”, polegającego na nadmiernej krętości i poszerzeniu naczyń siatkówki, co najmniej w dwóch kwadrantach dna oka. Obecnie najczęściej stosowane sposoby oceny naczyń siatkówki i objawu plus należą do spersonalizowanych, subiektywnych metod. Ten subiektywizm skłania do wykorzystania bezstronnej SI w diagnostyce, badaniach przesiewowych i monitorowaniu terapii w ROP. Drugim ważnym czynnikiem przemawiającym za zastosowaniem SI jest, w kategoriach światowych, brak specjalistów wyszkolonych w problemach ROP. Nie bez znaczenia są również coraz częstsze rozszczenia rodziców i odszkodowania związane z niepomysłnym przebiegiem choroby, nie stanowi to zachęty dla okulistów do zajmowania się zagadnieniami ROP. Z tych powodów wprowadzanie SI do praktyki klinicznej w retinopatii wcześniaków inicjowane od kilku lat, nabiera w ostatnim czasie przyspieszenia [17–21]. Projekty realizowanych badań dotyczą przede wszystkim oceny szerokości naczyń siatkówki i ich przebiegu. Te rozwijające się automatyczne metody oceny, pozwalające na obiektywizację diagnozowania poprzez pomiar naczyń, stają się złotym standardem w rozpoznaniu ROP i są istotne dla decyzji o podjęciu leczenia. Podstawą ocenianych zbiorów danych dotyczących objawu plus jest analiza obrazów dna oka, uzyskanych za pomocą systemu cyfrowego obrazowania dna oka z wykorzystaniem fundus kamery – RetCam. Według Tinga i wsp. diagnostyka choroby „przed plus” i „plus”, najważniejszej cechy ciężkiej postaci ROP, z zastosowaniem SI, pozwala na obiektywne, w porównaniu ze standardową diagnostyką referencyjną, monitorowanie choroby [8]. Algorytmy głębokiego uczenia w tych badaniach osiągały 100% czułości i 94% swoistości. Oloui i wsp. opracowali technikę cyfrowego przetwarzania obrazu w celu wykrywania naczyń siatkówki i pomiaru ich krętości oraz obliczenia całkowitej długości nadmiernie krętych naczyń w każdym kwadrancie i na całym obszarze dna oka, co ma znaczenie rokownicze [17]. Brown i wsp. przygotowali oprogramowanie wykorzystujące technologię głębokiego uczenia i bazę danych 5511 obrazów dna oka uzyskanych za pomo-

cą kamery RetCam [18]. Badania wykazały 93-procentową czułość i 94-procentową swoistość w określeniu obecności objawu plus. Ostatnie lata potwierdzają przydatność zautomatyzowanej SI, wykorzystującej zasady głębokiego uczenia, do oceny morfologii naczyń siatkówki i wskazują, że opracowane programy mogą być wykorzystywane jako narzędzie do badań przesiewowych ROP u wcześniaków, a także poprawić obiektywizm diagnostyki [20–21].

W okulistyce dziecięcej SI znajduje zastosowanie także w diagnostyce zaćmy i w kwalifikacji do leczenia operacyjnego [22–24]. Zaćma dziecięca jest jedną z głównych przyczyn ślepoty u dzieci; dotyka około 200 000 dzieci na całym świecie, przy szacowanej częstości występowania 4,24 na 10 000 żywych urodzeń. W początkowym stadium rozwoju, zaćma jest trudna do zidentyfikowania. W tej sytuacji przydatna jest SI, która pozwala na rozpoznanie choroby we wczesnym etapie rozwoju i wybór odpowiedniego momentu leczenia operacyjnego. Diagnostyka zaćmy dziecięcej w systemie SI, ocena jej struktury i stopnia dojrzałości jest oparta na obrazach (fotografiach) soczewki uzyskanych z lampy szczelinowej, z wykorzystaniem sztucznej splotowej sieci neuronowej. Lin i wsp. opracowali platformę SI, określoną mianem CC-Cruiser, do diagnozowania zaćmy dziecięcej i dostarczania informacji o stopniu ryzyka, i zaleceń dotyczących leczenia [23]. Wysoka dokładność CC-Cruiser została wcześniej zweryfikowana przy użyciu określonych zestawów danych. Celem projektu było porównanie skuteczności diagnostycznej i zdolności podejmowania decyzji dotyczących leczenia pomiędzy oceną dokonaną przez CC-Cruiser i przez okulistów pracujących w rzeczywistych warunkach klinicznych. Badanie objęło 350 uczestników (700 oczu), w wieku ≤14 lat. Wyniki uzyskane przez autorów sugerują, że chociaż na obecnym etapie, dokładność diagnozowania i podejmowania decyzji w oparciu o SI jest nieco niższa niż podczas badań bezpośrednich, to platforma CC-Cruiser może być pomocna w rozpoznaniu zaćmy u dzieci, skracając czas do rozpoznania i nie narażając małego pacjenta na stres związany z badaniem okulistycznym. Jest to pierwsze kliniczne randomizowane, kontrolowane badanie tego typu i wymaga dalszych prac zwiększających poprawę dokładności uzyskanych efektów w diagnostyce zaćmy, przed wprowadzeniem platformy SI do praktyki klinicznej. Sporządzono także pierwszy model identyfikacji niemowląt z wysokim ryzykiem zaćmy wrodzonej, stanowiącej główną przyczynę możliwej do uniknięcia ślepoty dziecięcej, który może służyć jako uzupełnienie procedury przesiewowej [24]. W zrozumieniu problemów związanych z wadami refrakcji, opracowuje się algorytmy SI dotyczące krótkowzroczności – wady refrakcji występującej coraz częściej u młodych pacjentów. Te badania, realizowane w oparciu o ogromną liczbę 687 063 danych elektronicznej dokumentacji pacjentów w wieku 6–20 lat, wykorzystanych do tworzenia algorytmów uczenia maszynowego, mogą przewidzieć wystąpienie wysokiej krótkowzroczności i pozwalają na włączenie działań profilaktycznych [25].

Przedstawione, nieliczne jeszcze możliwości zastosowania SI w wybranych chorobach oczu u dzieci z pewnością są wstę-

pem do dalszego i intensywnego wdrażania nowoczesnych, zautomatyzowanych metod badania. Obserwując ekspansywny rozwój SI, należy sądzić, że zaowocuje ona w najbliższej przyszłości nowymi, skomputeryzowanymi algorytmami diagnostyczno-terapeutycznymi w chorobach oczu u dzieci i młodzieży.

## OŚWIADCZENIE

Autorki deklarują brak konfliktu interesów.

### Piśmiennictwo

1. Graham N. Artificial Intelligence. Tab Books, Philadelphia 1979.
2. Kaplan A, Michael Haenlein M. Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Bus Horiz* 2019; 62: 15-25.
3. Schmidt-Erfurth U, Sadeghipour A, Gerendas B i wsp. Artificial intelligence in retina. *Prog Retin Eye Res* 2018; 67:1-29.
4. Keskinbora K, Güven F. Artificial Intelligence and Ophthalmology. *Turk J Ophthalmol* 2020; 50: 37-43.
5. Gulshan V, Peng L, Coram M i wsp. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA* 2016; 316: 2402-2410.
6. Padhy SK, Takkar B, Chawla R i wsp. Artificial intelligence in diabetic retinopathy: A natural step to the future. *Indian J Ophthalmol* 2019; 67: 1004-1009.
7. Hwang DK, Hsu Ch-Ch, Chang K-J i wsp. Artificial intelligence-based decision-making for age-related macular degeneration. *Theranostics* 2019; 9: 232-245.
8. Ting DSW, Pasquale LR, Peng L i wsp. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol* 2019; 103: 167-175.
9. Bajwa MN, Malik MI, Siddiqui SA i wsp. Two-stage framework for optic disc localization and glaucoma classification in retinal fundus images using deep learning. *BMC Med Inform Decis Mak* 2019; 19: 136.
10. Wang M, Shen LQ, Pasquale LR i wsp. An artificial intelligence approach to detect visual field progression in glaucoma based on spatial pattern analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019; 60: 365-375.
11. Barros DMS, Moura JCC, Freire CR i wsp. Machine learning applied to retinal image processing for glaucoma detection: review and perspective. *Biomed Eng Online* 2020; 19: 20.
12. Zaleska-Żmijewska A, Szaflik JP, Borowiecki P i wsp. A new platform designed for glaucoma screening: identifying the risk of glaucomatous optic neuropathy using fundus photography with deep learning architecture together with intraocular pressure measurements. *Klin Oczna* 2020; 122: 1-6.
13. Wu X, Liu L, Zhao L i wsp. Application of artificial intelligence in anterior segment ophthalmic diseases: diversity and standardization. *Ann Transl Med* 2020; 8: 714.
14. Natarajan S. Pediatric ophthalmology: The oldest ophthalmology subspecialty. *Indian J Ophthalmol* 2011; 59: 419-420.
15. Reid JE, Eaton E. Artificial intelligence for pediatric ophthalmology. *Curr Opin Ophthalmol* 2019; 30: 337-346.
16. Pueyo V, Pérez-Roche T, Prieto E i wsp. Development of a system based on artificial intelligence to identify visual problems in children: study protocol of the TrackAI project. *BMJ Open* 2020; 10: e033139.
17. Oloumi F, Rangayyan RM, Ells AL. Computer-aided diagnosis of retinopathy in retinal fundus images of preterm infants via quantification of vascular tortuosity. *J Med Imaging (Bellingham)* 2016; 3: 044505.
18. Brown JM, Campbell JP, Beers A i wsp. Automated diagnosis of plus disease in retinopathy of prematurity using deep convolutional neural networks. *JAMA Ophthalmol* 2018; 136: 803-810.
19. Redd TK, Campbell JP, Brown JM i wsp. Evaluation of a deep learning image assessment system for detecting severe retinopathy of prematurity. *Br J Ophthalmol* 2018; bjophthalmol-2018-313156.
20. Tan Z, Simkin S, Lai C i wsp. Deep learning algorithm for automated diagnosis of retinopathy of prematurity plus disease. *Transl Vis Sci Technol* 2019; 8: 23.
21. Scruggs BA, Chan RVP, Kalpathy-Cramer J i wsp. Artificial intelligence in retinopathy of prematurity diagnosis. *Transl Vis Sci Technol* 2020; 9: 5.
22. Liu X, Jiang J, Zhang K i wsp. Localization and diagnosis framework for pediatric cataracts based on slit-lamp images using deep features of a convolutional neural network. *PLoS One* 2017; 12: e0168606.
23. Lin H, Li R, Liu Z i wsp. Diagnostic efficacy and therapeutic decision-making capacity of an artificial intelligence platform for childhood cataracts in eye clinics: A Multicentre randomized controlled trial. *EClinicalMedicine* 2019; 9: 52-59.
24. Lin D, Chen J, Lin Z i wsp. A practical model for the identification of congenital cataracts using machine learning. *EBioMedicine* 2020; 51: 102621.
25. Lin H, Long E, Ding X i wsp. Prediction of myopia development among Chinese school-aged children using refraction data from electronic medical records: A retrospective, multicentre machine learning study. *PLoS Med* 2018; 15: e1002674.