

# Generatív és képfeldolgozó mesterséges intelligencia a szemészeti szűrésben a krónikus betegségek korai felismerésére és a betegedukáció javítására

*Generative and Image-Processing Artificial Intelligence in Ophthalmic Screening for Early Detection of Chronic Diseases and Improving Patient Education*

Szalóczy Nóra<sup>1,2</sup> ✉, Varsányi Balázs<sup>2,3</sup>, Joó Tamás<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Semmelweis Egyetem Egészségügyi Közzolgálati Kar Egészségügyi Menedzserképző Központ

<sup>2</sup>Theia Labs Kft., Pécs

<sup>3</sup>Ganglion Orvosi Központ, Pécs

✉ szaloczy.nora@emk.semmelweis.hu

**Háttér:** A diabétesz és a hipertónia világszerte egyre növekvő népegészségügyi terhet jelentenek. Gyakori szemészeti szövödményeik – a diabéteszes, illetve hipertóniás retinopátia – jelentős látáskárosodást okozhatnak; különösen a diabéteszes retinopátia a munkaképes korú lakosság körében a megelőzhető látásvesztés egyik vezető oka. A korai felismerés – rendszeres szemfenékvizsgálattal – jelentősen csökkentheti a súlyos látásromlás kockázatát. A szűrés széles körű megvalósítása ugyanakkor kihívásokba ütközik (szakemberhiány, alacsony részvétel).

**Célkitűzés:** A tanulmány áttekinti a mesterséges intelligencia, különösen a modern mélytanulás-alapú képfeldolgozó és generatív eszközök szerepét a krónikus betegségek (elsősorban a diabétesz és a hipertónia) szemészeti szövödményeinek szűrésében és korai felismerésében, valamint a betegedukáció javításában.

**Módszerek:** Narratív, szisztematikus jellegű szakirodalmi áttekintés PubMed- és Web of Science-indexelt klinikai tanulmányok, metaanalízisek, szakmai irányelvek és szabályozási dokumentumok felhasználásával.

**Eredmények:** Az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatala (FDA) által engedélyezett autonóm algoritmusok a diabéteszes retinopátia szűrésében szemész bevonása nélkül képesek a referálást igénylő elváltozásokat detektálni (érzékenység 87–96%, specifitás 85–94%). A generatív modellek a betegedukációban is megjelentek, használatukat azonban jelenleg pontossági és megbízhatósági problémák korlátozzák.

**Következtetés:** A mesterséges intelligencia alapú szemészeti szűrőrendszerek – megfelelő validáció és szervezeti integráció esetén – javíthatják a szűrés elérhetőségét és lefedettségét, és ezen keresztül hozzájárulhatnak a megelőzhető látásvesztés csökkentéséhez. Az európai uniós szabályozói környezet szigorú követelményeket ír elő a biztonságos és megbízható működés érdekében.

**Kulcsszavak:** mesterséges intelligencia, szemészeti szűrés, diabéteszes retinopátia, generatív modellek, betegedukáció, egészségügyi informatika

**Background:** Diabetes and hypertension are growing public health challenges worldwide. Their common ocular complications – diabetic and hypertensive retinopathy – can cause significant visual impairment; in particular, diabetic retinopathy is one of the leading causes of preventable vision loss in the working-age population. Early detection through regular retinal screening can significantly reduce the risk of severe visual impairment. However, the widespread implementation of screening faces challenges such as specialist shortages and suboptimal patient adherence.

**Objective:** To provide an overview of how artificial intelligence (AI) – especially modern deep learning-based image processing and generative AI – can be applied in ophthalmic screening to facilitate the early detection of the ocular complications of chronic diseases (primarily diabetes and hypertension) and to improve patient education.

**Methods:** A narrative, systematic-style literature review was conducted using PubMed and Web of Science indexed clinical studies, metaanalyses, professional guidelines, and regulatory documents.

**Results:** Autonomous algorithms approved by the U.S. Food and Drug Administration (FDA) can detect referable diabetic retinopathy lesions without an ophthalmologist (sensitivity 87–96%, specificity 85–94%). Generative models have also emerged in patient education, but their use is currently limited by accuracy and reliability problems.

**Conclusions:** With appropriate validation and organizational integration, AI-based ophthalmic screening systems can improve the reach and coverage of screening, thereby contributing to the reduction of preventable vision loss. The European Union regulatory environment imposes strict requirements to ensure safe and trustworthy operation.

**Keywords:** artificial intelligence, ophthalmic screening, diabetic retinopathy, generative models, patient education, health informatics

## BEVEZETÉS

A cukorbetegség és a magas vérnyomás a 21. században egyre növekvő népegészségügyi kihívást jelentenek. 2019-ben világszerte mintegy 463 millió felnőtt élt diabéteszszel, ami a globális populáció megközelítőleg 9,3%-át tette ki, és ez a szám előrejelzések szerint 2045-re 700 millió fölé emelkedik [1]. A diabétesz súlyos szisztémás szövődményei – így a nephropathia, a neuropathia és a cardiovascularis betegségek – mellett kiemelt jelentőségű a diabéteszes retinopátia (DR) és a diabéteszes makulaödéma (DME), amely a fejlett országokban a középkorú (20–65 év közötti) lakosság körében a megelőzhető vakság vezető oka [2]. Felmérések szerint a cukorbeteg megközelítőleg 22%-ának már a látást veszélyeztető stádiumú retinopátiája van (proliferatív DR vagy súlyos makulaödéma), bár a pontos arány a vizsgált populációtól és az ellátáshoz való hozzáféréstől függően változik [2].

Magyarországon a körülbelül 800 ezer ismert cukorbeteg közül több mint 32 ezer esetben alakult ki vakság vagy súlyos látásromlás; évente mintegy 1000 beteg veszíti el a látását a diabétesz szövődményei miatt [3]. Megfelelő vércukorkontrollal és rendszeres szemészeti szűrővizsgálattal ezeknek az eseteknek a jelentős része megelőzhető lenne [3]. A megelőzés kulcsa a rendszeres szűrés lehetne, a részvétel azonban világszerte elmarad az optimálistól. Becslések szerint a hazai cukorbeteg megközelítőleg háromnegyede nem jár rendszeresen szemfenékvizsgálatra [3], az Egyesült Államokban a betegeknek kevesebb mint fele tartja be az ajánlott éves szemészeti vizsgálatot [4]. Éppen ez az alacsony szűrési részvétel az a probléma, amelynek enyhítésében a mesterséges intelligencián alapuló, automatizált szűrés érdemi szerepet kaphat.

A szemfenéki érrendszer a diabétesz mellett más szisztémás betegségek (például hipertónia, érelmeszesedés) korai jeleit is hordozhatja [5]. A hipertóniás retinopátia jelei (érszűkület, kereszteződési tünet, vérzések) a tartósan kezelt magas vérnyomás indikátorai [5]. Újabb kutatások szerint a retina digitális felvételeiből mesterséges intelligencia segítségével olyan, korábban nehezen kvantifikálható kockázati tényezők is becsülhetők, mint a beteg biológiai életkora vagy vérnyomása; egyes vizsgálatokban – populációszintű, statisztikai modellezés szintjén – dohányzással összefüggő retinális jeleket is azonosítottak (hangsúlyozandó, hogy ez kizárólag populációszintű kockázatbecslésre alkalmas, és nem helyettesíti a klinikai dohányzási anamnézist), sőt, retinafotók alapján az 5 éven belüli kardiovaszkuláris események valószínűsége is becsülhető volt [5, 6].

A jelen közleményben kiemelten tárgyalt mesterséges intelligencia (MI) két fő típusa a képfeldolgozó és a generatív MI. A képfeldolgozó MI olyan, többnyire mélytanuláson (deep learning) alapuló rendszereket jelöl, amelyek digitális képekből – például retinafotókból – klinikai döntéstámogató következtetéseket vonnak le. A generatív MI ezzel szemben olyan modelleket takar, amelyek új, valószerű adatot (szöveget vagy képet) képesek előállítani, például szintetikus retinafotók vagy természetes nyelvű szöveges válaszok formájá-

ban. Különösen a mélytanulás megjelenése nyitott új lehetőségeket a problémák kezelésére. Az utóbbi években az MI-alapú képfeldolgozó algoritmusok látványos fejlődést értek el a medicinában, kiemelten a radiológiában és a szemészetben [6]. 2018-ban az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatala (FDA) történelmi jelentőségű döntést hozott, és első ízben engedélyezett egy teljesen autonóm MI-diagnosztikai eszközt orvosi használatra, éppen a diabéteszes retinopátia szűrésére [7, 8]. Azóta több hasonló MI-rendszer kapott engedélyt az Egyesült Államokban és Európában [4, 9, 10], és világszerte intenzív kutatás-fejlesztés zajlik a szemészeti MI-alkalmazások területén [6, 11].

## CÉLKITŰZÉS

A tanulmány célja, hogy narratív szakirodalmi áttekintést nyújtson a mesterséges intelligencia szemészeti szűrésben és betegdukációban betöltött szerepéről, a legújabb tudományos eredmények és gyakorlati példák alapján. Kiemelten foglalkozunk az autonóm, illetve döntéstámogató MI-rendszerekkel, amelyek a szemészeti diagnosztikában már klinikai realitássá váltak. Bemutatjuk a diabéteszes retinopátia automatizált szűrésére fejlesztett, FDA-engedéllyel rendelkező rendszereket – különös tekintettel a teljesen autonóm eszközökre, úgymint az IDx-DR (ma LumineticsCore), az Eyenuk EyeArt és az AEYE Health megoldása –, és ismertetjük azok működését, validációs eredményeit és klinikai státuszát.

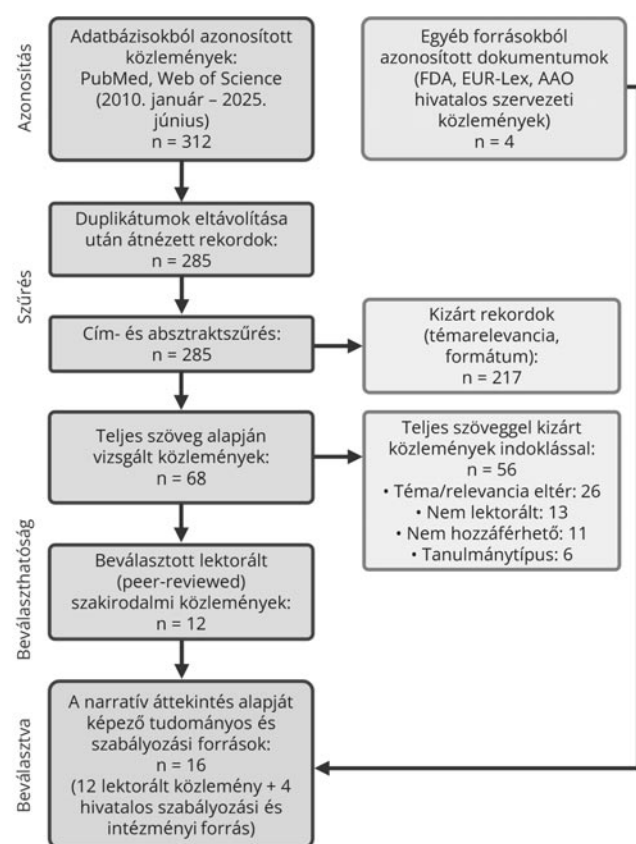
Röviden áttekintjük a generatív MI lehetséges szerepét a szemészetben, egyrészt a képkalkotásban (szintetikus retina-képek generálása, adatkiterjesztés), másrészt az orvosi kommunikációban (nagy nyelvi modellek lehetséges alkalmazásai az orvos–beteg kommunikáció és az edukációs anyagok területén), egyúttal kitérve e megközelítések jelenlegi korlátaira is.

## ADATOK ÉS MÓDSZEREK

A tanulmány a rendelkezésre álló tudományos irodalom kritikus áttekintésén alapul. Narratív, szisztematikus jellegű irodalomkeresést végeztünk 2010. január és 2025. június között a PubMed és a Web of Science tudományos adatbázisokban, angol és magyar nyelvű közleményekre szűrve. A keresés során a „diabetic retinopathy AND artificial intelligence”, „diabetic retinopathy screening”, „ophthalmology AI screening”, „generative AI healthcare”, „retinal image analysis deep learning” és „AI ophthalmology regulatory” kulcsszavakat alkalmaztuk. A beválogatás feltétele az volt, hogy a közlemény lektorált klinikai tanulmány, metaanalízis, szisztematikus áttekintés vagy releváns szabályozási dokumentum legyen, hozzáférhető teljes szöveggel, a szemészeti MI-alkalmazás vagy a diabéteszes retinopátia szűrése tárgy körében. A szabályozási és intézményi forrásokat a hatóságok hivatalos webhelyein kerestük (eur-lex.europa.eu, fda.gov, aao.org). Kizártuk a duplikátumokat, a nem hozzáférhető teljes szövegű és a témától eltérő közleményeket.

A keresés összesen 312 tudományos találatot eredményezett; ezt 4 szabályozási, illetve intézményi forrás (az AI Act szövege, FDA-dokumentumok és az Amerikai Szemészeti Akadémia [American Academy of Ophthalmology, AAO] sajtóközleménye) egészítette ki. A duplikátumok eltávolítása után 285 közlemény címét és absztraktját szűrtük; ebből 68 közlemény teljes szövegét tekintettük át, és végül 16 forrás (12 lektorált tudományos közlemény és 4 szabályozási/intézményi dokumentum) felelt meg a beválasztási kritériumoknak (1. ábra). A kiválasztott források alapján összegyűjtöttük a főbb szemészeti MI-rendszerek teljesítménymutatóit (érzékenység, specificitás) és a hozzájuk tartozó validációs vizsgálatok jellemzőit.

A tanulmány szakirodalmi összefoglaló, ezért intézményi etikai engedély beszerzésére nem volt szükség.



Megjegyzés: A keresés narratív szakirodalmi áttekintést szolgáltat, nem teljes PRISMA-megfelelőségű szisztematikus review-t.

#### 1. ábra

A szakirodalmi keresés és kiválasztás folyamatát bemutató, PRISMA-szerű folyamatábra. Az ábra a beválasztott közlemények kiválasztásának lépéseit szemlélteti, az azonosítástól (n = 312 tudományos találat és 4 szabályozási/intézményi forrás) a duplikátumok eltávolítása utáni szűrésen (n = 285) és a teljes szöveg alapján vizsgált közleményeken (n = 68) át a beválasztott forrásokig (n = 16, ebből 12 lektorált közlemény és 4 szabályozási/intézményi dokumentum). Rövidítések: FDA: az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatala (Food and Drug Administration), AAO: az Amerikai Szemészeti Akadémia (American Academy of Ophthalmology), EUR-Lex pedig az Európai Unió hivatalos jogi adatbázisa.

## EREDMÉNYEK

### MI-alapú rendszerek a szemészeti szűrésben

A diabétesz miatt veszélyeztetett, több millió fős betegpopuláció hatékony szűrésében nagy jelentőséget kapott az autonóm döntéshozatalra képes MI-rendszerek kifejlesztése. 2018-ban az IDx-DR nevű algoritmus elsőként kapott FDA-tanúsítványt arra, hogy orvosi felügyelet nélkül értékeljen retinafelvételeket [7, 8]. Az IDx-DR (a fejlesztő Digital Diagnostics későbbi márkanevén LumineticsCore) egy mélytanuló konvolúciós neurális hálózat (convolutional neural network, CNN), amely a retina digitális fotóin felismeri a referálást igénylő diabéteszes retinopátia jeleit [7]. A rendszer kiemelten az enyhénél súlyosabb (more-than-mild, mtmDR) DR-kategóriát célozza meg, ami a diabéteszes retinopátia súlyossági pontszáma (diabetic retinopathy severity score, DRSS) szerinti 35-ös vagy annál súlyosabb fokozatnak felel meg, beleértve a kezelést igénylő makulaödémát is.

Az IDx-DR teljesítményét egy összesen 900 beteg bevonásával, 10 amerikai alapellátási helyszínen lefolytatott, prospektív, multicentrikus pivotál vizsgálat igazolta [7]; a bevont betegek közül 819 volt elemzésre alkalmas. A vizsgálatba korábban nem ismert proliferatív retinopátiájú, 1-es vagy 2-es típusú diabéteszben szenvedő, legalább 22 éves betegeket vontak be; a rendszer eredményeit független referenciastandarddal (a Wisconsin Fundus Photograph Reading Center szakértői leletezésével) vetették össze. Az algoritmus 87,2% érzékenységet és 90,7% specificitást ért el az enyhénél súlyosabb DR kimutatásában, meghaladva az előzetesen kitűzött teljesítménycélokat [7]. Az FDA engedélyezési közleménye szerint ez volt az első autonóm, orvosi felügyeletet nem igénylő MI-diagnosztikai rendszer az orvostudomány bármely területén [8].

2020-ban – további rendszerek mellett – az Eyenuk Inc. által fejlesztett EyeArt is FDA-engedélyt kapott [10]. Az EyeArt egyik jellemzője, hogy egy lépésben két kategóriát értékel, és a referálást igénylő (mtmDR) retinopátia mellett a látást veszélyeztető DR-t (vision-threatening DR, vtDR) is külön jelzi. Az EyeArt FDA-engedélyhez vezető pivotál vizsgálatában az algoritmus 96% érzékenységet és 88% specificitást ért el a referálandó DR azonosításában, míg a súlyosabb, azonnali kezelést igénylő esetek (vtDR) detektálásában 92% érzékenységet és 94% specificitást [9]. A rendszer teljesítményét több, különböző populációkon végzett vizsgálat is megerősítette [9].

2022 és 2023 folyamán újabb fejlesztések váltak elérhetővé. Az AEYE-DS (Diagnostic Screening) elnevezésű MI-rendszer 2023 végén – 2024 elején FDA-engedélyt kapott [4]. Különlegessége, hogy ez az első olyan FDA-engedélyezett, teljesen autonóm DR-szűrő MI, amely hordozható (handheld) retinakamerával is használható; ez kibővíti az alkalmazási kört a hagyományos, asztali funduskamerát üzemeltető szakellátási helyszíneken túlra is (például mobil szűrésekre vagy alapellátási rendelőkre). Két prospektív, multicentrikus klinikai vizsgálat (TRIAL-1 és TRIAL-2, összesen 488, illetve 327 résztvevővel) adatai alapján az AEYE-DS 92–

93% érzékenységet és 89–94% specificitást ért el a referálandó diabéteszes retinopátia kimutatásában [4, 9]. E vizsgálatokban a felvételek több mint 99%-a bizonyult kiértékelhető minőségűnek, ami a rendszer robusztusságát jelzi különböző, valós klinikai körülmények között [4].

A nemzetközi fejlesztések közül Európában például Portugáliában a Retmarker nevű szoftvert validálták diabéteszes retinopátia szűrésére, az Egyesült Királyságban pedig az országos diabéteszes szemészeti szűrőprogram (NHS Diabetic Eye Screening Programme, NHS DESP) keretében értékeli MI-rendszerek bevezetésének lehetőségét a humán leletezés kiegészítésére [11]. E rendszerek részletes teljesítményadatainak összehasonlító elemzése túlmutat a jelen áttekintés keretein, amely elsősorban a fő, FDA-engedélyezett autonóm szűrőrendszerek validációjára összpontosít. Ázsiában Szingapúr példája emelkedik ki. Az országos diabéteszes szűrőprogramhoz kifejlesztett SELENA+ (Singapore Eye Lesion Analyzer) MI-rendszer a DR mellett a glaukómagyanú és a késői stádiumú makuladegeneráció jeleit is detektálja [12]. A SELENA+ 2019 óta működik, és a látást veszélyeztető DR felismerésében igen magas, 100%-os érzékenységet ért el, 91,1%-os specificitással mellett [12].

A Google DeepMind 2018-ban publikált tanulmánya szerint pusztán retinafotók alapján hasonló pontossággal lehetett előre jelezni a kardiovaszkuláris kockázatot (AUC megközelítőleg 0,70), mint a hagyományos klinikai rizikómodellel [5]. A DeepMind a londoni Moorfields Eye Hospital intézménnyel együttműködve a retina optikai koherencia tomográfias (optical coherence tomography, OCT) felvételeinek elemzésére fejlesztett ki olyan MI-modellt, amely 95% feletti pontossággal sorolta be a pácienseket sürgősségi szempontból [13].

### **Generatív MI a szemészetben: szintetikus képgenerálás és nyelvi modellek**

A generatív mesterséges intelligencia képalkotó ága a szemészeti szűrésben elsősorban közvetett szerepet tölt be, mivel nem közvetlenül a szűrésben vesz részt, csupán a szűrő algoritmusok betanítását segítheti. Leggyakrabban használt eszközei a generatív versengő hálózatok (generative adversarial networks, GAN), amelyekben két neurális háló – egy generátor és egy diszkriminátor – verseng egymással; az egyik a valósághoz hasonló, szintetikus retinaképeket próbál előállítani, a másik pedig a valós és a mesterséges képek elkülönítését tanulja. Az így létrehozott, valódi felvételekhez megtevesztésig hasonló szintetikus retinaképekkel a ritka elváltozások és az alulreprézentált betegcsoportok tanítóadatai egészíthetők ki. Ennek a szűrés szempontjából az a gyakorlati jelentősége, hogy a kiegyensúlyozottabb tanítóadat javíthatja a szűrő algoritmusok megbízhatóságát és méltányosságát a különböző populációkban [11]. Fontos korlát ugyanakkor, hogy a generált képek önmagukban diagnosztikai célra nem alkalmasak, és a folyamat klinikailag félrevezető műtermékeket is létrehozhat.

A nagy nyelvi modellek (large language model, LLM) nagy mennyiségű szöveges adaton előzetesen betanított, természetes nyelvi feladatok megoldására alkalmas neurális

hálók. Kimenetük megbízhatósága azonban jelenleg még nem egyenletes, ezért betegtájékoztatásra önmagukban nem alkalmasak. Ezt jól szemlélteti egy 2023-ban megjelent, szemészeti vonatkozású elemzés, amely három chatbot (a ChatGPT, a Gemini és a Copilot) teljesítményét vizsgálta szemészeti kérdésekben [14]. A vizsgálat szerint mindhárom rendszer hajlamos volt pontatlanságokra, és az általuk adott edukációs válaszok jelentős része tévedéseket vagy félrevezető információt tartalmazott [14]. Két chatbot ráadásul nem várt torzítást (bias) is mutatott, mivel az általuk ajánlott szemész szakorvosoknak kevesebb mint 2%-a volt nő, holott az amerikai szemésztársadalomban megközelítőleg 27% a nők aránya [14].

### **MEGBESZÉLÉS**

A bemutatott eredmények alapján a mesterséges intelligencia szemészeti szűrésbe való integrálása több ponton hozzájárulhat a megelőzhető látásvesztés előfordulásának csökkentéséhez. A hatás elsősorban a szűrési részvételi arány és a korai felismerés javításán keresztül érvényesül, mivel a könnyen hozzáférhető, automatizált előszűrés révén több, addig kimaradó beteg juthat el a szűrésre, a kórosnak ítélt eseteket pedig időben szakorvoshoz lehet irányítani [11].

A korai felismerés mellett az egységes döntési kritériumok jelentenek további előnyt. Az emberi tényezővel végzett leletezés eredményessége függ a leletező szakember képzettségétől, koncentrációjától, sőt fizikai állapotától (fáradtságtól) is. Ezzel szemben egy validált MI-algoritmus változatlanul ugyanazokat a döntési kritériumokat alkalmazza, akár a sokadik vizsgálatnál is. Az IDx-DR vizsgálatban hangsúlyozták, hogy az algoritmus etnikai hovatartozástól és demográfiai jellemzőktől függetlenül hasonló pontossággal működött [7]. Fontos azonban, hogy ez a konzisztencia önmagában nem jelent tévedhetetlenséget.

Reálisan kell értékelnünk tehát az MI jelenlegi képességeit. Az egységes alkalmazás ellenére a legjobb algoritmusok sem tökéletesek; az IDx-DR esetében például nagyjából minden tizedik beteg lelete téves eredményt (álpozitív vagy álnegatív) ad [7]. Az álnegatív eredmény különösen kritikus, mert ha a páciens megnyugtató eredményt kap, miközben valójában retinopátiája van, az hamis biztonságérzetet adhat. További korlát, hogy az MI-rendszerek jellemzően egyetlen betegsége fókuszálnak, így egy negatív DR-lelet más, párhuzamosan fennálló szembetegségeket nem zár ki [9].

Ha a vonatkozó szabályozási és etikai keretrendszert áttekintjük, az látható, hogy azt két fő pillér alkotja: az orvostechnikai eszközökre vonatkozó szabályozás és az MI-specifikus szabályozás. Az Európai Unió 2024-ben elfogadta a mesterséges intelligenciáról szóló 2024/1689/EU rendeletet (AI Act), amely az első átfogó, horizontális MI-szabályozás [15]. Az AI Act az egészségügyi felhasználású MI-t külön kategóriába, a „magas kockázatú MI-rendszerek” közé sorolja. Az ilyen rendszerekre szigorú követelmények vonatkoznak, többek között kockázatkezelési rendszer felállítása, magas minőségű tanítóadat-készletek használata, részletes

műszaki dokumentáció, a felhasználók átlátható tájékoztatása és emberi felügyelet biztosítása [15, 16].

Adatvédelmi szempontból a retinafelvételek – egészségügyi személyes adatként – az általános adatvédelmi rendelet (General Data Protection Regulation, GDPR) hatálya alá esnek. Ez különösen lényeges akkor, ha a képeket elemzés céljából felhőszolgáltatásba töltik fel, mivel a szolgáltatónak garantálnia kell az adatok biztonságos továbbítását és tárolását. A GDPR egyik alapelve a célhoz kötött adatkezelés, vagyis a beteg retinafotója kizárólag arra a célra használható, amelyről a beteget tájékoztatták [15]. A felelősség kérdése szintén alapvető, hiszen tisztázni kell, ki felel, ha az MI téved, és emiatt a beteget kár éri. Az autonóm rendszerek a felelősség egy részét a gyártóra, illetve a szolgáltatóra hárítják, és az uniós jogalkotás is lépéseket tesz e kérdés egyértelművé tételére [16].

### **A szűrési eredmények kommunikációja és a betegedukáció**

A hatékony szűrés nem merül ki az eltérések detektálásában, hiszen legalább ilyen fontos, hogy a páciensek megfelelő visszajelzést és edukációt kapjanak. Az MI-rendszerek alkalmazásakor felmerül az igény, hogy az automatikus jelentés a beteg számára is értelmezhető formában készüljön. A korszerű rendszerek (például az EyeArt) közérthető, vizuális riportot készítenek, amelyen a fundusfotón a detektált léziókat (mikroaneurizmák, vérzések) színekkel jelölik, és a továbbutalás indokoltságát egyértelmű kategóriákban (például mtmDR igen/nem) közlik. Ez a riport elsősorban a szemész szakorvos általi validációt és a beteggel folytatott vizsgálatot szolgálja, és önmagában nem tekinthető betegoktató anyagnak [9].

A generatív nyelvi modellek a jövőben személyre szabott leletmagyarázatokat is nyújthatnak. Ahogy azonban fentebb jeleztük, az LLM-ek jelenleg hajlamosak pontatlan információt is közölni, így felügyelet nélküli használatuk nem javasolt. A szakirodalomban már megjelent a „Dr. Chatbot” jelenség kritikája, miszerint a betegek hajlamosak túlzott bizalommal fordulni az MI-tanácsokhoz, ami akár a kezelés késlekedéséhez is vezethet [14]. Az Amerikai Szemészeti Akadémia (AAO) épp ezért hangsúlyozza, hogy az online eszközök nem helyettesítik a szemészeti vizsgálatot [14].

### **KÖVETKEZTETÉSEK**

A generatív és képfeldolgozó mesterséges intelligencia szemészeti szűrésben való alkalmazása az utóbbi években egyre inkább bizonyítékon alapuló, gyorsan fejlődő területté vált. A diabéteszes retinopátia példáján láthattuk, hogy az autonóm MI-algoritmusok nagy pontossággal képesek kimutatni a referálandó elváltozásokat, és így javíthatják a szűrés elérhetőségét. Az időben felfedezett retinopátia lézerkezeléssel, gyógyszeres vagy egyéb terápiával gyakran kezelhető, így a korai felismerés közvetve hozzájárulhat a látásvesztés megelőzéséhez [2, 7]. A hazai adatok tükrében – Magyarországon évente mintegy 1000 új, diabéteszhez köthető vak-

ság jelentkezik [3] – különösen fontos lenne a szűrési arány növelése, amelyben az MI-eszközök bevezetése érdemi szerepet kaphat.

Fontos ugyanakkor elkülöníteni a szervezeti-strukturális és a népegészségügyi szempontot. Szervezeti szinten az MI-eszközök az ellátórendszer több pontján (optikák, háziorvosi rendelők, diabetológiai gondozás) beilleszthetők a meglévő szűrési folyamatokba. Önmagában azonban az MI-támogatott fundusvizsgálat nem teszi szervezettebbé a szűrést; ehhez rendszerszintű intézkedésekre – például behívási rendszerre, az Elektronikus Egészségügyi Szolgáltatási Tér (EESZT) szerinti nyomon követésre és finanszírozási protokollra – van szükség, amelyekben belül az MI a leletezési kapacitást és a hozzáférhetőséget bővítheti. Népegészségügyi szempontból a lényegi előny nem az azonosított esetek számának növekedése, hanem az, hogy a korábban fel nem ismert, kezelhető stádiumú retinopátiák időben terápiához juthatnak, ami hosszú távon a megelőzhető látásvesztés és az ezzel járó betegségteher csökkenéséhez vezethet.

A betegedukáció és az orvos–beteg együttműködés terén az MI-rendszerek bevezetése mellett továbbra is elengedhetetlen a páciensek tájékoztatása. Az algoritmus eredményét közérthetően kell a beteg tudomására hozni; ebben a generatív nyelvi modellek a jövőben személyre szabott segítséget nyújthatnak, ehhez azonban felügyelt és szakmailag hitelesített MI-tartalmakra van szükség [14]. Az etikai felelősség és a szabályozás vonatkozásában fontos, hogy a mesterséges intelligencia alkalmazása nem csökkenti a szakemberek felelősségét; továbbra is felelősek vagyunk azért, hogy az MI-t megfelelően validálva, korlátainak ismeretében használjuk. Az AI Act és a kapcsolódó szabályozások – például az FDA-szoftver, mint orvostechikai eszköz (software as a medical device, SaMD) útmutatói, valamint az uniós orvostechikai eszközökről szóló rendelet (Medical Device Regulation, MDR) – együttesen megfelelő jogi és biztonsági keretet biztosítanak a klinikai MI-alkalmazásokhoz.

A hazai egészségügy lehetőségeit tekintve Magyarországon a diabétesz és a hipertónia terén arányaiban hasonló kihívások jelentkezők, mint globálisan. Az MI-alkalmazások hozzájárulhatnak a szűrések elérhetőségének és a lakosság lefedettségének javításához, amennyiben hazai validációs vizsgálatokkal és szervezeti integrációval kerülnek bevezetésre. Hazai működő példaként említhető, hogy Magyarországon a Theia Labs nevű, Magyarországon bejegyzett, engedélyezett egészségügyi szolgáltató a GDPR előírásait követő, EESZT-integrációval rendelkező adatkezelés mellett már több mint 50 optikai partnerhelyszínen kínál MI–szakorvos hibrid szemészeti szűrési szolgáltatást telemedicinális szakorvosi leletezéssel [17]. E szolgáltatás hazai populáción való prospektív klinikai validációja, valamint az állami ellátórendszerbe való teljes integrációja azonban további vizsgálatot és szakpolitikai döntéseket igényel.

Összességként elmondható, hogy a mesterséges intelligencia önmagában nem old meg minden egészségügyi kihívást, a korai felismerés elősegítésében – azaz a szekunder prevenció, a tünetmentes vagy korai stádiumú betegség fel-

ismerésében – azonban értékes eszköz lehet. A hazai és nemzetközi példák alapján egyes rendszerek – különösen az FDA által engedélyezett autonóm szűrőeszközök – már kellő validáltsági szinttel rendelkeznek ahhoz, hogy körültekintő bevezetéssel a klinikai gyakorlat részévé válhassanak; ehhez azonban további evidenciák, megfelelő finanszírozási modellek és a szabályozási keret hazai tisztázása szükséges.

### Anyagi támogatás

A közlemény megírása és az irodalomkutatás nem részesült közvetlen külső anyagi támogatásban. A szerzők a jelen közlemény elkészítéséhez célzott pályázati vagy ipari finanszírozást nem kaptak. Hangsúlyozandó ugyanakkor, hogy a szerzők közül ketten (Szalóczy Nóra és Dr. Varsányi Balázs) a cikkben említett Theia Labs Kft. társtulajdonosai; ezt az érdekeltségi viszonyt az Érdekeltségek szakasz részletezi.

### Érdekeltségek

A szerzők közül ketten (Szalóczy Nóra és Dr. Varsányi Balázs) a cikkben említett Theia Labs Kft. társtulajdonosai. Ez az érdekeltség a kézirat benyújtását megelőző 3 évre vonatkozóan fennáll. A szerzők elismerik, hogy ez az érdekeltség potenciális összeférhetetlenséget jelent, és felhívják rá az olvasók és a bírálók figyelmét. A Theia Labs a cikkben kizárólag egy folyamatban lévő hazai kezdeményezés rövid példájaként szerepel, nem pedig klinikai validációs adatok forrásaként. A többi említett vállalattal (Digital Diagnostics, Eyenuk, AEYE Health, Google) egyik szerző sem áll alkalmazási, tanácsadói vagy pénzügyi kapcsolatban.

### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Saeedi P, Petersohn I, Salpea P et al.: Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas (9th ed.). *Diabetes Res Clin Pract.* 2019;157:107843. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.107843>
- [2] Teo ZL, Tham YC, Yu M et al.: Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology.* 2021;128(11):1580–1591. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2021.04.027>
- [3] Tóth G, Szabó D, Sándor GL et al.: Diabetes and blindness in people with diabetes in Hungary. *Eur J Ophthalmol.* 2019;29(2):141–147. <https://doi.org/10.1177/1120672118811738>
- [4] Hutton D: Study examines the use of AI-based detection of diabetic retinopathy in the US. *Modern Retina.* 2024. <https://www.modernretina.com/view/study-examines-the-use-of-ai-based-detection-of-diabetic-retinopathy-in-the-us> (Hozzáférés: 2026.01.27.)
- [5] Poplin R, Varadarajan AV, Blumer K et al.: Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nat Biomed Eng.* 2018;2(3):158–164. <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0195-0>
- [6] Ting DSW, Pasquale LR, Peng L et al.: Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol.* 2019;103(2):167–175. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-313173>
- [7] Abràmoff MD, Lavin PT, Birch M et al.: Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices. *npj Digit Med.* 2018;1:39. <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0040-6>
- [8] FDA: FDA permits marketing of artificial intelligence-based device to detect certain diabetes-related eye problems. U.S. Food & Drug Administration, 2018. <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-permits-marketing-artificial-intelligence-based-device-detect-certain-diabetes-related-eye-problems>
- [9] Vakharia P: Artificial Intelligence for the Screening of Diabetic Retinopathy. *Retinal Physician.* 2022;19(Nov/Dec):20–22. <https://retinalphysician.com/issues/2022/novemberdecember/artificial-intelligence-for-the-screening-of-diabetic-retinopathy/> (Hozzáférés: 2025.06.10.)
- [10] Eyenuk Inc.: Eyenuk announces FDA clearance for EyeArt autonomous AI system for diabetic retinopathy screening. 2020. <https://www.eyenuk.com/us-en/articles/news/eyenuk-announces-eyeart-fda-clearance/> (Hozzáférés: 2025.06.10.)
- [11] Grzybowski A, Brona P, Lim G et al.: Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye (Lond).* 2020;34(3):451–460. <https://doi.org/10.1038/s41433-019-0566-0>
- [12] Ting DSW, Cheung CY, Lim G et al.: Development and validation of a deep learning system for diabetic retinopathy and related eye diseases using retinal images from multiethnic populations with diabetes. *JAMA.* 2017;318(22):2211–2223. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.18152>
- [13] De Fauw J, Ledsam JR, Romera-Paredes B et al.: Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. *Nat Med.* 2018;24(9):1342–1350. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0107-6>
- [14] American Academy of Ophthalmology (AAO): Beware of Dr. Chatbot: Generative AI Often Gives Unreliable, Biased Medical Advice. AAO Newsroom, 2023. <https://www.aao.org/newsroom/news-releases/detail/beware-of-dr-chatbot-generative-ai-advice> (Hozzáférés: 2026.01.27.)
- [15] Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmo-

nised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union, L 2024/1689.

<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng>

- [16] Veritti D, Rubinato L, Sarao V et al.: Behind the mask: a critical perspective on the ethical, moral, and legal implications of AI in ophthalmology. Graefes Arch Clin Exp

Ophthalmol. 2023;261(12):3529–3539.

<https://doi.org/10.1007/s00417-023-06245-4>

- [17] Theia Labs: Theia Labs – MI-alapú szemészeti elemző platform optikák és egészségügyi szolgáltatók számára [Theia Labs – AI-based ophthalmic analysis platform for opticians and healthcare providers]. theia-labs.com (Hozzáférés: 2025.06.05.)

## A SZERZŐK BEMUTATÁSA



**Szalóczy Nóra** jelenleg a Semmelweis Egyetem Egészségügyi Menedzserképző Központjában dolgozik generatív mesterséges intelligencia szakértőként. A Theia Labs társalapítója, ahol MI-alapú megoldások fejlesztésével és stratégiai irányításával foglalkozik. A Kürt Akadémia szakértőjeként rendszeresen oktat mesterséges intelligenciával kapcsolatos témákat. Oktatási tevékenységet folytat a felsőoktatásban és a

piaci szférában egyaránt, különös tekintettel az MI gyakorlati alkalmazásaira. Szociológus végzettséggel rendelkezik, mesterdiplomáját gazdaság- és szervezetszociológia területén szerezte. Egészségügyi adattudósként és technológiai szakértőként dolgozott nemzetközi vállalatoknál, többek között az IQVIA és a Boston Consulting Group projektjeiben. Szakmai tapasztalata kiterjed egészségügyi adatelemzésre, stratégiai tanácsadásra és digitális innovációra. Munkája fókuszában az adatvezérelt, felelős és skálázható MI-megoldások állnak.



**Varsányi Balázs** orvosi diplomáját 2003-ban, PhD-fokozatát 2006-ban szerezte a Semmelweis Egyetemen, szemészeti szakvizsgáját 2009-ben tette le. Képzése során több nemzetközi tanulmányúton vett részt a Tübingeni Egyetem Szemklinikáján, a londoni Moorfields Eye Hospitalban és a nijmegeni Radboud Egyetemen. Az általános

szemészetben belül fő érdeklődési területe a retina, különösen az elektrofiziológia, a színlátás, az örökletes retinabetegségek és a szemészeti képalkotó eljárások. Munkájában kiemelt

hangsúlyt kap a prevenció, a korai felismerés és a súlyos szemészeti szövődmények megelőzése. A diagnosztika és tanácsadás mellett szürkehályog- és vitrektómiás műtéteket is végez. Tudományos munkáját az örökletes retinabetegségek területén folytatta, melynek részeként egy évet a Tübingeni Egyetem Molekuláris Genetikai Laboratóriumában dolgozott. Tagja a Magyar Szemorvostársaságnak, a Neuroophthalmológiai Szekció elnöke, valamint a Szemészeti Genetika Szekció alapító tagja. Nemzetközi szinten az EURETINA, az ISCEV és az ARVO szakmai társaságok tagja.



**Joó Tamás** egyetemi docens, adatvezérelt egészségügyi szakértő, a Semmelweis Egyetem EKK EMK igazgatóhelyettese, a Magyar Egészségügyi Menedzsment Társaság elnökhelyettese. 2012-től 2014-ig az Egészségügyért Felelős Államtitkárságon kezdetben gazdasági elemzőként, majd egy ágazati vezetői információs rendszer kialakítását célzó uniós projekt szakmai vezetőjeként, végül az ágazatvezető személyi titkáráként tevékenykedett. 2014-ben kapcsolódott be a Semmelweis Egyetem Egészségügyi

Menedzserképző Központban folyó munkába. Kezdetben senior egészségügyi közgazdászként, jelenleg docenseként hazai és nemzetközi projektek tervezésében és megvalósításában vesz részt. PhD-hallgatóként a dohányzás visszaszorítására irányuló intézkedések értékelését és további beavatkozási lehetőségek kutatását támogató innovatív adatvezérelt módszerekkel kapcsolatban végezte tanulmányait, doktori fokozatát 2022-ben szerezte meg. Tagja a Belügyminisztérium és a NAV mesterséges intelligencia munkacsoportjainak. Az Egészségügyi Menedzserképző Központban 2024-ben indult egészségügyi adattudomány mesterképzés programvezetője.