

# Mesterséges intelligencia a diabeteses retinopathia szemészeti szűrésében

*Dilemmák és lehetőségek a magyar egészségügyben*

Volek Éva dr.<sup>1, 2</sup> ■ Pénzes Melinda dr.<sup>1, 3\*</sup> 

Szécsényi-Nagy Balázs dr.<sup>1</sup> ■ Skribek Ákos dr.<sup>4</sup> ■ Pál-Jakab Ádám dr.<sup>1, 5</sup>  
Kilin Viktor<sup>1, 6</sup> ■ Antus Zsuzsanna dr.<sup>1, 2, 7</sup> ■ Resch Miklós dr.<sup>2, 7</sup>

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

<sup>2</sup>Budai Szemészeti Központ, Budapest

<sup>3</sup>Szegedi Tudományegyetem, Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Kar, Népegészségtani Intézet, Szeged

<sup>4</sup>Szegedi Tudományegyetem, Szent-Györgyi Albert Klinikai Központ, Szemészeti Klinika, Szeged

<sup>5</sup>Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Budapest

<sup>6</sup>Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Anatómiai, Szövet- és Fejlődéstani Intézet, Budapest

<sup>7</sup>Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Szemészeti Klinika, Budapest

**Bevezetés:** A látásromlás és a vakság jelentős betegségterhet jelent Magyarországon. Hazai epidemiológiai adatok szerint az 50 év feletti lakosság körében a kétoldali vakság és a súlyos látásromlás együttes prevalenciája megközelíti a 0,9%-ot, és nemzetközi becslések szerint a látásvesztéssel járó esetek mintegy 90%-a megfelelő ellátással megelőzhető vagy kezelhető lenne. A szemészeti szűrés lefedettsége alacsony, amit a célzott finanszírozás hiánya, a szemész szakorvosi kapacitás korlátozottsága és az egységes országos protokoll hiánya magyaráz.

**Célkitűzés:** Tanulmányunk célja a mesterséges intelligenciával támogatott szemészeti szűrés magyarországi bevezetésének szakmai, szervezeti, finanszírozási, jogi és etikai feltételeinek áttekintése, különös tekintettel a diabeteses retinopathiára.

**Módszer:** Hazai epidemiológiai, humán erőforrás- és költségadatokat, valamint a nemzetközi diabeteses retinopathia szűrési modelleket, továbbá az európai uniós, orvostechinikai eszközökre és mesterséges intelligenciára vonatkozó szabályozási keretek célzott narratív irodalmi áttekintését végeztük, a klinikai és népegészségügyi relevancia alapján kiválasztott források felhasználásával.

**Eredmények:** A hazai szemészeti szűrési gyakorlat elsősorban a szemészeti humán erőforrás korlátozott száma és finanszírozási korlátok miatt elmarad attól a szinttől, amely a megelőzhető látásromlásokból adódó betegségteher érdemi mérsékléséhez szükséges. Szemészeti humán erőforrás-kapacitásunk jelenleg nem elegendő a szakmai ajánlások szerint szükséges, évente mintegy egymillió diabeteses szemfenéki vizsgálat biztosításához. A preventív és szűrési tevékenység nem elkülönült kapacitásként, hanem döntően az általános szemészeti szakellátás részeként, önálló finanszírozási háttér nélkül valósul meg. Nemzetközi tapasztalatok alapján a mesterséges intelligencia döntéstámogató vagy triázoló eszközként történő alkalmazása képes mérsékelni a szakemberterhelést, miközben a diagnosztikai pontosság megőrizhető.

**Következtetés:** A mesterséges intelligenciával támogatott szemfenéki szűrési rendszer javíthatja a szűréshez történő hozzáférést, a következetességet, valamint a hatékonyságot. A mesterségesintelligencia-alapú szemfenéki szűrés hazai bevezetése szükségessé teszi annak finanszírozási háttérének biztosítását, a feladatmegosztás szabályozását optometristák és szakdolgozók bevonásával, valamint a jogi és etikai előírások betartását. Egy átmeneti, hibrid modell – amelyben egy nemzetközileg validált mesterségesintelligencia-rendszer pilotformában működik, párhuzamosan a hazai fejlesztés elindításával – reális utat kínálhat egy strukturált, országos szűrőprogram felé, amely hozzájárulhat a megelőzhető vakság betegségterhének csökkentéséhez.

Orv Hetil. 2026; 167(22): 865–875.

**Kulcsszavak:** diabeteses retinopathia, mesterséges intelligencia, szemfenéki szűrés, egészségpolitika, humán erőforrás

## Artificial intelligence in diabetic retinopathy screening

### *Dilemmas and opportunities in the Hungarian healthcare system*

**Introduction:** Visual impairment and blindness continue to represent a substantial disease burden in Hungary. According to national epidemiological data, the combined prevalence of bilateral blindness and severe visual impairment among individuals aged 50 years and older is approximately 0.9%, and international estimates suggest that around 90% of vision loss cases could be prevented or treated with appropriate care. However, the coverage of ophthalmic screening remains low, primarily due to the lack of targeted financing, limited ophthalmology workforce capacity, and the absence of a unified national screening protocol.

**Objective:** The aim of our study is to review the professional, organizational, financial, legal and ethical conditions for the implementation of artificial intelligence-supported ophthalmic screening in Hungary, with a particular focus on diabetic retinopathy.

**Method:** We conducted a targeted narrative literature review of national epidemiological, human resource, and cost data, as well as an analysis of international diabetic retinopathy screening models and the European Union regulatory frameworks for medical devices and artificial intelligence, using sources selected based on clinical and public health relevance.

**Results:** The level of Hungarian ophthalmological screening practice is insufficient to significantly reduce the burden of preventable vision impairment, primarily due to limited human resources and funding constraints. The current human resource capacity of the Hungarian ophthalmic care system is insufficient to provide the approximately one million diabetic fundus examinations required annually according to professional guidelines. Preventive and screening activities are not organized as dedicated services but are largely delivered as part of routine ophthalmic outpatient care, without separate financing. International experience indicates that the use of artificial intelligence as a decision-support or triage tool can reduce specialist workload while maintaining diagnostic accuracy.

**Conclusion:** Artificial intelligence-supported fundus screening systems have the potential to improve access to screening, consistency, and efficiency. The introduction of artificial intelligence-based fundus screening in Hungary would require the establishment of appropriate financing mechanisms, regulation of task-sharing involving optometrists and allied health professionals, and compliance with relevant regulatory and ethical frameworks. A transitional hybrid model – combining the pilot use of an internationally validated artificial intelligence system in parallel with launch of domestic development – may offer a realistic pathway toward a structured national screening program and contribute to reducing the disease burden of preventable blindness.

**Keywords:** diabetic retinopathy, artificial intelligence, fundus screening, health policy, human resources

Volek É, Péntes M, Szécsényi-Nagy B, Skribek Á, Pál-Jakab Á, Kilin V, Antus Zs, Resch M. [Artificial intelligence in diabetic retinopathy screening. Dilemmas and opportunities in the Hungarian healthcare system]. *Orv Hetil.* 2026; 167(22): 865–875.

(Beérkezett: 2026. március 5.; elfogadva: 2026. március 27.)

#### Rövidítések

AI = (artificial intelligence) mesterséges intelligencia; ARIAS = (automated retinal image analysis systems) automatikus retina-képfeldolgozó rendszerek; CE = (Conformité Européenne) európai megfelelés; DESP = (Diabetic Eye Screening Programme) Diabetesez Szűrőprogram; FDA = (U.S. Food and Drug Administration) az Amerikai Egyesült Államok Élelmiszer-biztonsági és Gyógyszerészeti Hivatala; GDPR = (General Data Protection Regulation) az Európai Unió általános adatvédelmi rendelete; MDR = (Medical Device Regulation) az Európai Unió orvostechikai eszközökre vonatkozó rendelete; NEAK = Nemzeti Egészségbiztosítási Alapkezelő; NHS = (National Health Service) az Egyesült Királyság Egészségügyi Szolgálat; OENO = Orvosi Eljárások Nemzetközi Osztályozása; RAAB = (Rapid Assessment of Avoidable Blindness) az elkerülhető vakság gyors felmérése; ROP = (retinopathy of prematurity) koraszülöttek retinopathiája; TME = teljesmunka-idő-egyenérték; VEGF = (vascular endothelial growth factor) eredetű endothelialis növekedési faktor

A súlyos látásromlás és a vakság világszerte, így Magyarországon is jelentős népegészségügyi és gazdasági terhet jelent [1–3]. A vakságot <0,05-ös (3/60 alatti) látásélességként határozza meg az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organization, WHO) [1]. A látásvesztés következtében csökken az érintettek munkaképessége, nő a szociális ellátórendszer igénybevétele, és számottevő közvetlen egészségügyi kiadások jelentkeznek [1].

A látásromlás és a vakság epidemiológiai vizsgálatára világszerte alkalmazott Rapid Assessment of Avoidable Blindness (RAAB) standardizált, populációs módszertan, amely az 50 év feletti népesség reprezentatív mintáján, egységes definíciók és vizsgálati protokoll alapján méri fél a látásromlás és a vakság gyakoriságát és vezető okait, lehetővé téve a nemzetközi összehasonlíthatóságot és az időbeli trendek követését [3, 4]. A RAAB-módszertanon alapuló legutóbbi hazai vizsgálatok sze-

rint az 50 év feletti lakosság körében a kétoldali vakság és a súlyos látásromlás együttes prevalenciája megközelíti a 0,9%-ot [3].

Hazai adatok alapján az időskori maculadegeneratio 37,5%-ban, a glaucoma 16,7%-ban, míg a diabeteses retinopathia 8,3%-ban járul hozzá a vakság kialakulásához [3]. Bár arányát tekintve a diabeteses retinopathia kisebb részt képvisel, jelentősége kiemelkedő, mivel strukturált, populációsintézi szűrővel korai stádiumban azonosítható, és időben megkezdett kezeléssel a látásromlás nagy arányban megelőzhető, így célzott szűrése népegészségügyi szempontból kiemelt jelentőségű. A hazai munkaképes korú lakosság körében a cukorbetegség társadalmi költségterhe kiemelkedően magas [5]. Az életkor előrehaladtával e betegségek előfordulása jelentősen növekszik, ami az idősödő népesség körében a szemészeti ellátórendszer terhelésének további fokozódását vetíti előre [1, 6, 7]. Nemzetközi RAAB-vizsgálatok és a WHO összegző becslései alapján a vaksági esetek jelentős része időben történő felismeréssel és ellátással megelőzhető vagy kezelhető, ami alátámasztja a korai felismerés és a szervezett szűrés kiemelt jelentőségét [1, 8, 9].

Cukorbeteg esetében a nemzetközi és hazai szakmai ajánlások egyaránt évente legalább egyszeri, pupillatágítást követő szemfenékvizsgálatot javasolnak a diabeteses retinopathia korai felismerésére és kezelésére [10, 11]. Hazánkban a regisztrált cukorbeteg szám meghaladja az egymillió főt [12], ami éves szinten mintegy egymillió vizsgálat elvégzését, napi körülbelül 4000 vizsgálat szükségességét jelenti. Nagyságrendi kapacitásbecslés alapján, figyelembe véve a pupillatágítást követő szemfenékvizsgálatok időigényét, egy szemész szakorvos napi kapacitása 15–20 diabeteses vizsgálatra becsülhető. Ennek alapján az évente szükséges vizsgálatok szám ellátásához becslések szerint legalább 200–265 teljes munkaidős szemész szakorvos kizárólagos bevonása lenne szükséges.

Az utóbbi évtizedben a mesterséges intelligencia alkalmazása a szemészeti diagnosztikában új lehetőséget teremtett a szűrési folyamatok hatékonyságának növelésére. A mesterségesintelligencia-alapú képelemző rendszerek képesek a szemfenéki képek automatizált, egységes minőségű értékelésére, ezáltal támogatva a nagyobb populációkat érintő, költséghatékony szűrőprogramok megvalósítását. A technológia különösen a diabeteses retinopathia, a glaucoma és az időskori maculadegeneratio korai felismerésében kínálhat megoldást az orvoslét-szám- és egyéb erőforráskorlátokra tekintettel [13–16]. A mesterséges intelligencia szemészeti alkalmazásának hazai vonatkozásait összefoglaló közlemények hangsúlyozzák, hogy a technológia a klinikai döntéstámogatás, a kutatás és az oktatás területén egyaránt növekvő jelentőséggel bír. A mesterséges intelligencia egészségügyi alkalmazása szigorú jogi és etikai keretek között történhet: az Európai Unió orvostechnikai eszközökre vonatkozó rendelete (Medical Device Regulation – MDR) és az újonnan elfogadott Mesterséges Intelligencia Rende-

let (Artificial Intelligence Act, AI Act) az orvosi célú, diagnosztikai szemészeti mesterségesintelligencia-rendszereket a nagy kockázatú kategóriába sorolja, ami fokozott követelményeket támaszt az adatvédelem, a klinikai validáció, a megbízhatóság és az orvosi felelősség terén [17, 18].

A telemedicina szemészeti alkalmazására Magyarországon már rendelkezésre állnak validált, nemzetközileg is publikált tapasztalatok. A koraszülöttek retinopathiájának (retinopathy of prematurity, ROP) szűrésére alkalmazott telemedicinás modell hazai környezetben történő bevezetése és értékelése igazolta, hogy a digitális képalkotáson és távleletezésen alapuló ellátás megfelelő diagnosztikai pontosságot és megbízhatóságot nyújt [19]. A Csecsemő-Szem-Mentő Program (Premature Eye Rescue Program) keretében végzett vizsgálatok szerint a telemedicinás megoldás alkalmas volt a klinikailag releváns esetek megbízható azonosítására, miközben csökkentette a szakorvosi jelenlét szükségességét a perifériás ellátási helyszíneken [19, 20]. Ez a hazai precedens alátámasztja, hogy a strukturált képalkotásra és központi értékelésre épülő modellek – megfelelő minőségbiztosítás és szakmai felügyelet mellett – sikeresen integrálhatók a magyar egészségügyi rendszerbe. A ROP-szűrésben szerzett tapasztalatok fontos módszertani és szervezési tanulságokkal szolgálnak a felnőttkori, népegészségügyi célú szemészeti szűrésnek, így a diabeteses retinopathia mesterséges intelligenciával támogatott szűrésének jövőbeli kialakításához is.

A jelen tanulmány célja, hogy nemzetközi és hazai eredmények alapján narratív áttekintést nyújtson a mesterséges intelligencián alapuló szemészeti szűrés magyarországi alkalmazhatóságának szakmai, humán erőforrás-, finanszírozási és etikai feltételeiről. A tanulmány feltárja a jelenlegi ellátórendszer korlátait, különös tekintettel a hazai szemészeti szűrés humán erőforrás- és finanszírozási helyzetére, valamint bemutatja a releváns nemzetközi gyakorlatok adaptálhatóságát és a hazai bevezetés lehetséges irányait.

## A szemészeti szűrés humán erőforrás- és ellátásszervezési helyzete Magyarországon

A szemészeti szűrés hatékonyságát nem kizárólag a szakorvosi ellátás kapacitása határozza meg; az eredményesség jelentős mértékben függ a szűrésben részt vevő szakdolgozók és optometristák bevonásától is, amit hazai telemedicinás és pilotprogramok tapasztalatai igazolnak [20, 21]. Az utóbbi években Magyarországon egyre több olyan projektjellegű vagy szervezett szűrőprogram indult, amelyben nem orvosi végzettségű szakemberek – elsősorban optometristák, asszisztensek és védőnők – aktív szerepet töltenek be a látásszűrésben és a betegutak szervezésében [20–23]. Az ellátórendszer szervezetsége és protokollalapú integrációja azonban továbbra sem kielégítő: jelenleg nem áll rendelkezésre olyan országos szintű szemészeti szűrési irányelv, amely egyértelműen

meghatározná a feladatmegosztást, a betegutakat és az együttműködési kereteket a szakorvosi ellátással. Az egyes ellátási szinteken a kompetenciahatárok és a finanszírozási szabályok eltérései akadályozzák a szűrési tevékenység következetes, rendszerszintű működését.

A nemzetközi trendekhez hasonlóan Magyarországon is megfigyelhető az a szakpolitikai törekvés, hogy a szűrési folyamat egyes elemei megfelelően képzett szakdolgozók bevonásával valósuljanak meg, ezáltal csökkentve a szakorvosi ellátás terhelését. Hazánkban azonban jelenleg nem áll rendelkezésre egységes, nyilvános nyilvántartás az aktívan klinikai tevékenységet végző szemész szakorvosok, optometristák és szemészeti asszisztensek számáról, ami a szemészeti alapellátás részben egészségügyi, részben magánellátási jellegéből adódhat. A szemészeti ellátásban a szakorvosok munkáját szemészeti asszisztensek és egyéb szakdolgozók támogatják, elsősorban a járóbeteg-szakellátásban, szakrendelőben és kórházi ambulanciákon. Tevékenységük jellemzően a vizsgálatok előkészítésére, a látásélesség- és szemnyomásmérésre, a diagnosztikus eszközök használatának támogatására, valamint a betegirányításra és -dokumentációra terjed ki. Az optometristák tevékenysége a hazai gyakorlatban elsősorban a látásélesség meghatározására, a refrakció vizsgálatára és az optikai korrekció meghatározására, valamint szemészeti műszerek alapvető használatára terjed ki [24]. A szemfenéki képek diagnosztikus értékelése és a klinikai döntéshozatal ugyanakkor továbbra is szemész szakorvosi kompetencia.

Az előbbi, szemészeti szűrésben is részt vevő szakdolgozók mellett érdemes megemlíteni a védőnőket is. A védőnői hálózat Magyarországon nagyságrendileg 5000 főt számlál, akik tevékenységükkel a gyermek- és serdülőkorú lakosság preventív ellátásában kiemelkedő szerepet játszanak [25]. A védőnői ellátás keretében végzett, életkorhoz kötött szűrővizsgálatok a látásfejlődési zavarok korai felismerését is célozzák, különös tekintettel az óvodáskorú populációra [26, 27].

A gyermekkori látásproblémák különféle szakemberek bevonásával zajló, korai és innovatív módon történő detektálásának jelentőségét több hazai vizsgálat is alátámasztja. A telemedicinás szemészeti szűrés hazai alkalmazására már rendelkezésre állnak publikált tapasztalatok. A koraszülöttek retinopathiájának szűrésében alkalmazott telemedicinás modell igazolta, hogy a digitális képalkotás retinotelemetrista neonatológiai szakasszisztens általi, neonatális intenzív centrumban történő elvégzése és a központi, gyermekszemész szakorvos által végzett távértékelés megfelelő diagnosztikai pontossággal és betegbiztonsággal működtethető [19, 20]. A Magyar Máltai Szeretetszolgálat által működtetett mobil szűrőprogram keretében, felzárkózó településeken helyileg optometristák és képzett laikus szűrési munkatársak, valamint telemedicina keretében elérhető gyermekszemész szakorvosok bevonásával zajló gyermekszemészeti szűrőprogram hozzájárul ahhoz, hogy a 0–18 éves gyermekek szemészeti szűréshez és alapvizsgálatokhoz való

hozzáférése és szemészeti betegútjának szervezése javuljon, megvalósuljon [21]. Mindezek alátámasztják, hogy a strukturált képrögzítésre és központi értékelésre épülő telemedicinás rendszerek már a gyermekszemészeti szűrésben is integrálhatók – nem csak szemészeti specializációjú egészségügyi szakemberek bevonásával – a szemészeti ellátásba.

Magyarországon a felnőtt lakosság körében a szemészeti szűrés jelenleg nem egységesen szervezett, országos népegészségügyi jellegű program keretében valósul meg, hanem döntően időszakos vagy projektalapú kezdeményezések formájában történik. A másfél évtizede működő Magyarország Átfogó Egészségvédelmi Szűrőprogramjának tapasztalatai azt mutatják, hogy bár ezek a lakossági szűrések jelentős számú résztvevőt értek el, a szemészeti vizsgálatok nem képeztek strukturált, folyamatosan fenntartott elemet, és elsősorban alkalmi megjelenéssel valósultak meg [28]. A projektalapú működésből fakadóan a szemészeti szűrési tevékenység lefedettsége, minősége és utánkötése területenként és időszakonként jelentős eltéréseket mutathat, ami korlátozhatja a korai felismerés és a megelőzés hatékonyságát. Így a strukturált betegutak, az egységes adatgyűjtés és a visszacsatolás hiánya miatt a szűrés eredményei csak korlátozottan épülhetnek be a szakellátásba és a hosszú távú népegészségügyi tervezésbe. Mindez rámutat arra, hogy a jelenlegi, elsősorban projektekre épülő szemészeti szűrési gyakorlat önmagában nem alkalmas a megelőzhető látásromlás és vakság terhének érdemi csökkentésére. A hazai szemészeti szűrési rendszer szervezettsége és az alapellátásba történő integrációja továbbra sincs megoldva. E szervezeti és humánerőforrás-korlátok együttesen indokolnák egy országos szemészeti szűrőprogram kialakítását, valamint a későbbi, mesterséges intelligenciával támogatott megoldások célzott előkészítését.

Fontos hangsúlyozni, hogy a mesterséges intelligencián alapuló szűrés bevezetése önmagában nem oldaná meg a jelenlegi ellátórendszeri hiányosságokat. A technológiai eszközök rendelkezésre állása mellett elengedhetetlen a megfelelő képzési háttér kialakítása, az egészségügyi szakdolgozók és optometristák célzott felkészítése, valamint a klinikai gyakorlatba történő fokozatos integráció. Az új megoldások bevezetése szervezeti és működési változásokat is igényel, beleértve a betegutak újraszervezését és a minőségbiztosítási szempontok érvényesítését.

Mindezek alapján a mesterségesintelligencia-alapú szűrés egy komplex egészségügyi innováció részeként értelmezhető, amelynek hatékony alkalmazása megfelelő előkészítést és adaptációs folyamatot igényel. A hazai bevezetés koncepcionálisan több, egymásra épülő lépésben képzelhető el. Első lépésként pilot jellegű programok indítása szükséges, validált mesterségesintelligencia-alapú rendszerek alkalmazásával. Az így szerzett tapasztalatok alapján alakítható ki egy standardizált, országos működési modell, amely magában foglalja a képrögzítés, az értékelés és a betegutak egységesítését. A bevezetés felté-

tele a megfelelő képzési háttér biztosítása, valamint a finanszírozási struktúra adaptálása a preventív szűrés támogatására. Időbeli szempontból a rendszer fokozatos, többéves implementációja reális, amely pilotprogramokra és azok kiterjesztésére épül, párhuzamosan a hazai fejlesztési lehetőségek figyelembevételével.

A preventív és szűrési tevékenységekre fordítható kapacitás arányát a szakorvosi munkaidőnek a klinikai ellátás és a szűrés közötti megoszlására vonatkozó szakirodalmi és humánerőforrás-adatok alapján, nagyságrendi becsléssel határoztuk meg. A szemészeti humánerőforrás országos szinten korlátozott, és a rendelkezésre álló kapacitás jelentős része nem prevenció, hanem terápiás ellátásban kerül felhasználásra. A szemész szakorvosok jelentős része járó- és fekvőbeteg-ellátási feladatokat egyaránt ellát, ami érdemben korlátozza a preventív és szűrési tevékenységekre fordítható kapacitást [29].

Magyarországon az aktív szemész szakorvosok számát egy korábbi vizsgálatban 960 főre becsülték [30], ugyanakkor egy hazai forrás ennél kevesebbet, mintegy 780 főt ad meg [20], amely a jelenlegi klinikai aktivitást reálisabban tükrözheti. Ennek megfelelően az alábbi kapacitászámítások során ezt az alacsonyabb becslést vettük alapul, hangsúlyozva, hogy az eredmények elsősorban elméleti megközelítésként értelmezendők. A preventív, szűrési és terápiás tevékenységekre fordítható szakorvosi munkaidő- és feladatmegoszlás figyelembevételével a teljes szemész szakorvosi kapacitás megközelítőleg 30–35%-a fordítható preventív és szűrési tevékenységekre [10, 20, 29, 31], ami 234–273 szemész szakorvos kizárólag szűrésben való részvételét jelentené. A kapacitásbecsléshez alkalmazható a teljesmunkaidő-egyenérték (TME) számítása, amelynek módszertana alapján 1 TME éves szinten 2080 munkaórának felel meg, ha 40 óra/hét munkaviszonyt veszünk figyelembe 52 hét/év során [32]. A mintegy 780 aktív, hazai szemész szakorvossal számolva ez elméletileg 1 622 400 szakorvosi munkaórát jelent évente. Ha ennek optimista becsléssel 30–35%-a fordítható szűrőtevékenységre, az 486 000–568 000 munkaórát tesz ki. A cukorbetegség esetében végzett komplex szemészeti vizsgálat átlagosan 20 percet (0,33 óra) igényel; így teljes egészében, az erre dedikált kapacitás mellett ez évi mintegy 1,5–1,7 millió vizsgálat elvégzését tenné lehetővé. Ez a számítás azonban elméleti maximumot tükröz. A ténylegesen rendelkezésre álló kapacitás ennél várhatóan alacsonyabb, mivel a szűrésre fordítható idő nem kizárólag a diabeteses retinopathia felismerését szolgálja, hanem magában foglalja például a glaucoma, a cataracta, egyéb retina- és elülsőszegmens-eltérések, valamint a gyermekszemészeti szűrési ellátását is. Emellett a szemészeti járó- és fekvőbeteg-ellátás, a műtéti tevékenység, a gondozás, a sürgősségi esetek és az adminisztratív terhek tovább csökkentik a ténylegesen dedikálható szűrési időt. Következésképpen a teljes hazai cukorbeteg-populáció

rendszeres, kizárólag a hagyományos szakorvosközpon-tú modellben történő országos lefedettségű szemfenéki szűrése jelentős humánerőforrás-korlátokba ütközik.

## Finanszírozási háttér és költséghatékonysági szempontok a szemészeti szűrésekben

A hazai szemészeti ellátás a közfinanszírozott járó- és fekvőbeteg-szakellátás keretében működik, teljesítmény-alapú finanszírozási rendszerben, amely elsődlegesen a gyógyító-megelőző tevékenységek elszámolására épül [29, 33]. A prevenció és a célzott szűrési tevékenységek számára jelenleg nem áll rendelkezésre önálló, dedikált finanszírozási tétel. Továbbá a finanszírozási struktúra nem különíti el önálló, országosan szervezett, dedikált finanszírozási keretet a diabeteses retinopathia vagy más szemfenéki betegségek népegészségügyi jellegű szűrésére. A szemfenéki vizsgálatok jellemzően a szakrendelési ellátás részeként, komplex szemészeti vizsgálat keretében kerülnek elszámolásra, például I1041: vizsgálat vagy I1301: kontrollvizsgálat, konzílium OENO megnevezésű kódokkal. Ennek alapján a diabeteses retinopathia vagy egyéb szemfenéki betegségek szűrése nem külön finanszírozási jogcímen jelenik meg, hanem az általános szakvizsgálati ellátás keretében kerül elszámolásra.

A telemedicinás vagy optometrista által végzett szűrés – például funduskamerás képalkotás és távlelemezés – jelenleg nem része a NEAK által finanszírozott ellátási körnek, hanem jellemzően projektalapon vagy magánellátási formában működik. A projektalapú kezdeményezések közé tartoznak például a Magyar Máltai Szeretetszolgálat által szervezett, pályázati vagy adományforrásból finanszírozott, térítésmentes mobil szemészeti szűrőprogramok, amelyek elsősorban hátrányos helyzetű térségekben biztosítanak hozzáférést alapvizsgálatokhoz [21]. A magán- és optikai szektorban működő szemfenéki szűrések jellemzően közfinanszírozás nélkül, piaci vagy önköltséges alapon valósulnak meg. Ezzel szemben a közfinanszírozott ellátórendszerben a szemfenéki vizsgálatok az általános szakvizsgálati tevékenységek keretében kerülnek elszámolásra, önálló szűrési finanszírozási tétel nélkül. A jelenlegi finanszírozási struktúra így nem különíti el a preventív célú szemfenéki szűrést a diagnosztikus szakvizsgálatról [29].

A diabeteses retinopathia egyik leggyakoribb és legsúlyosabb látásromláshoz vezető szövődménye a diabeteses maculaedema, amely a hazai ellátórendszerben jelentős terápiás és finanszírozási terhet jelent [34, 35]. A diabeteses retinopathia szűrésével és kezelésével kapcsolatos hazai egészség-gazdaságtani elemzések egyértelműen rámutattak, hogy az előrehaladott stádiumú látásromlás kezelése jelentős közvetlen egészségügyi kiadásokkal jár. Egy magyarországi modellvizsgálat szerint a diabeteses retinopathia közvetlen egészségügyi költségei elérték a

43,66 milliárd forintot, amelynek legnagyobb részét az intravitrealis 'anti-vascular endothelial growth factor' (anti-VEGF-) kezelések (28,91 milliárd forint) és a vitrectomiák (8,09 milliárd forint) tették ki [35]. A kutatócsoport számításai alapján az egy betegre jutó átlagos közvetlen kiadás 54 691 forint volt, ami elsősorban az előrehaladott esetekhez kapcsolódott [35]. A költségmodellezés alapján a diabeteses betegek évenkénti szemfenéki vizsgálata telemedicinás szűrőrendszerrel évente mintegy 1,19 milliárd forintból megvalósítható, szemben a hagyományos szakrendelői szűrés 3,79 milliárd forintos éves költségével [35]. Bár a modell nem mesterséges intelligencián alapuló rendszert vizsgált, a mesterséges intelligenciával támogatott megoldások a humán erőforrás-igény csökkentése és a hatékonyabb osztályozási rendszer révén várhatóan tovább javíthatnák a költséghatékonyságot és a lefedettséget [13, 14]. Az elsősorban projektlapon működő szűrési programok tehát értékes tapasztalatokat biztosítanak, ám nem helyettesítik az egységes, országos, közfinanszírozott szűrőrendszert. A strukturált finanszírozás hiánya nemcsak az ellátás területi egyenlőtlenségét növeli, hanem hosszú távon a megelőzhető látásromlásból fakadó egészségügyi és társadalmi költségek emelkedéséhez is hozzájárulhat.

A nemzetközi példák közül érdemes megemlíteni, hogy az Egyesült Királyságban működő NHS Diabetic Eye Screening Programme (DESP) nem mesterséges intelligencián alapuló, ugyanakkor jól szervezett, országos lefedettségű diabeteses retinopathia szűrési modell, amely elkülönített szervezeti struktúrával és dedikált képzési, valamint „grading” (osztályozói) kapacitással működik [10, 36, 37]. A brit modellben a képzés, a minőségbiztosítás és az értékelés szervezetten, a hagyományos szakrendelői ellátástól elkülönülten zajlik.

## Nemzetközi tapasztalatok és jógyakorlatok a mesterségesintelligencia-alapú szemészeti szűrésben

A hazai finanszírozási és humán erőforrás-korlátok fényében indokolt áttekinteni azokat a nemzetközi eredményeket és működő jógyakorlatokat, amelyek bizonyítottan javítják a szemfenéki, mesterséges intelligencia által támogatott szűrés lefedettségét és eredményességét. A mesterségesintelligencia-alapú szemészeti diagnosztikai és szűrési rendszerek az elmúlt évtizedben a leggyorsabban fejlődő orvosi képzési technológiák közé tartoztak. A szemfenéki képzésen alapuló autonóm vagy döntéstámogató rendszerek – attól függően, hogy igényelnek-e humán felülvizsgálatot – különösen a diabeteses retinopathia szűrésében értek el áttörést, ugyanakkor a glaucoma és az időskori maculadegeneratio területén is megkezdődött a klinikai validációjuk.

Az Egyesült Királyságban működő NHS DESP 2003-ban indult országos, szervezett diabeteses retinopathia szűrési program, amely strukturált, standardizált proto-

koll alapján működik, és országos lefedettséget ért el [37]. A program keretében évente több mint 2 millió diabeteses személy szemfenéki szűrése történik Angliában; 2017–2018-ban például több mint 2,2 millió vizsgálat zajlott le [36, 37]. A szervezett, rendszeresen ismételt szűrés bevezetését követően a diabeteses retinopathia már nem a munkaképes korú lakosság vezető vaksági oka Angliában [37].

A skandináv országokban szintén hosszú ideje működnek szervezett, rendszeres szemfenéki szűrési rendszerek. Svéd populációs vizsgálatok igazolták, hogy a strukturált követés és rendszeres retinaszűrés mellett a látásveszélyeztető retinopathia előfordulása mérséklődik, és a súlyos látásvesztés ritkább a gondozott populációban [38].

A nagy volumenű, minőségbiztosított adatbázisokra épülő rendszerek lehetőséget teremtettek automatizált retina-képfeldolgozó rendszerek (automated retinal image analysis systems – ARIAS) klinikai validációjára is. Egy nagy léptékű, valós környezetben végzett angliai vizsgálatban több CE-jelölt algoritmust értékelték a nemzeti szűrőprogram adatain; a referálható diabeteses retinopathia kimutatására mért szenzitivitás 83,7–98,7% között mozgott, és az algoritmusok alkalmasnak bizonyultak a humán „grader” (osztályozói) kapacitás jelentős tehermentesítésére [36]. Nemzetközi áttekintések szerint a mesterségesintelligencia-alapú rendszerek különösen a nem referálható esetek automatizált kiszűrésében hatékonyak, ezáltal csökkenthetik a humán értékelők terhelését, miközben a diagnosztikai teljesítmény klinikailag elfogadható marad [14, 39, 40].

Ausztráliában a szemészeti ellátáshoz való hozzáférés földrajzi egyenlőtlenségei miatt több programban is előtérbe került a diabeteses retinopathiának a nem mydriaticus fundusfotózásra épülő telemedicinás szűrése, különösen távoli/vidéki ellátási környezetben [41–44]. Ezekben a modellekben a retinaképek rögzítése helyben történik (képzett helyi személyzet, alapellátási környezet), majd a felvételeket távértelekkeléssel (telemedicinás centralizált olvasás – „telereading”) értékelik ki. Középausztrál és elszigetelt, vidéki területeken zajlott vizsgálatok alapján az egymezős digitális fundusfotózás a diabeteses retinopathia szűrésére elfogadható pontosságú módszer lehet ilyen környezetben [41, 42]. A telemedicinás olvasási útvonalak országos szintű bevezetésének korai tapasztalatait és megvalósítási kihívásait egy kormányzati háttérű ausztrál program értékelése is bemutatta [43]. Az automatizált képelemzés (ARIA/AI) ausztrál, valós populációhoz köthető példaként bennszülött (indigenous) retinaképanyagon is vizsgáltak automatizált retina-képelemző megközelítést humán osztályozókhoz („grader-ekhez”) viszonyítva, ami a jövőben triázoló szerepkörben támogathatja a „grader” kapacitás tehermentesítését [44].

A klinikai validáció területén mérföldkőnek számít az ún. IDx-DR megnevezésű autonóm diagnosztikai rendszer, amely az első, az Amerikai Egyesült Államok Élel-

miszer- és Gyógyszerügyi Hivatala (FDA) által engedélyezett, teljesen autonóm mesterségesintelligencia-alapú eszköz volt a diabeteses retinopathia kimutatására [13, 45]. A döntő jelentőségű, prospektív klinikai vizsgálat 900 beteg bevonásával 87%-os szenzitivitást és 90%-os specificitást igazolt, amely megfelelt a humán értékelők teljesítményének, és megalapozta az autonóm mesterségesintelligencia-rendszerek klinikai alkalmazhatóságát a diabeteses retinopathia szűrésében [13].

Egy további, prospektív, multicentrikus vizsgálatban az Optomed Aurora kézi funduskamerával (Oulu, Finnország) rögzített képeken 21 különböző algoritmus teljesítményét értékelték több mint tízezer szemfenéki felvétel alapján. Az algoritmusok szenzitivitása és specificitása klinikailag elfogadható tartományban mozgott, ami alátámasztja, hogy a mesterségesintelligencia-alapú rendszerek valós klinikai környezetben is megfelelő diagnosztikai pontosságot nyújthatnak [46].

Összességében a nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy a mesterséges intelligenciával támogatott szemfenéki szűrés a szervezett, egységes szakmai protokollok mentén működő, társadalombiztosítás által finanszírozott egészségügyi rendszerekben hatékony és biztonságos megoldás lehet. Mindezek alapján a mesterségesintelligencia-alapú szemészeti szűrés magyarországi bevezetése nem csupán technológiai, hanem népegészségügyi és gazdasági szempontból is megfontolandó, különösen a növekvő betegszám és a szemészeti humán erőforrás-hiány tükrében.

## Hazai kezdeményezések és lehetőségek a mesterségesintelligencia-alapú szemészeti szűrés területén

Magyarországon a mesterséges intelligencia alkalmazása a szemészeti diagnosztikában jelenleg még korai fejlődési szakaszban van, ugyanakkor az elmúlt években több kutatás és pilotprogram indult, amelyek a technológia bevezethetőségét és gyakorlati integrálását vizsgálják [20, 27, 31, 47]. A hazai tapasztalatok alapján a lehetséges bevezetés fő akadályai a finanszírozási és szervezeti keretek hiányosságai, az adatvédelmi és felelősségi kérdések rendezetlensége, valamint az országos szintű standardizáció és validált protokollok kidolgozatlansága [20, 31, 47].

A diabeteses retinopathia szűrésének hazai gyakorlatát és szövődésének korai felismerését *Csutak és mtsai* elemezték, akik rámutattak arra, hogy a szűrés lefedettsége Magyarországon továbbra is alacsony szintű, és jelentős regionális különbségek figyelhetők meg [31, 48]. A betegutak szervezetlensége miatt a diabeteses retinopathiát számos esetben csak előrehaladott stádiumban ismerik fel. *Zeffér és mtsai* egy, a magyar egészségügyi rendszerbe illeszthető, telemedicinás alapú diabeteses retinopathia szűrés modellét mutattak be, amely szervezési és finanszírozási szempontból is fenntartható megoldást

vázol fel [47]. Bár vizsgálatuk nem mesterséges intelligencián alapuló technológiát értékelt, a bemutatott módszertan alkalmas lehet a mesterségesintelligencia-alapú rendszerek jövőbeli integrációjának modellezésére és elemzésére.

Magyarországon intézményi szinten kutatás-fejlesztési projektek indultak a szemfenéki képelemzés mesterségesintelligencia-alapú támogatására, ezek eredményeiről azonban jelenleg korlátozottan férhető hozzá publikált klinikai validációs adat. A rendelkezésre álló hazai és nemzetközi adatok alapján az mesterségesintelligencia-alapú szemészeti szűrés magyarországi bevezetése várhatóan elsőként a diabeteses retinopathia területén valósulhat meg, mivel ehhez a kórképhez kapcsolódik a legtöbb validált algoritmus, klinikai evidencia és költséghatékonysági elemzés [13, 14, 35, 45, 49]. A jövőben a mesterséges intelligencia alkalmazása az időskori maculadegeneratio és a glaucoma korai felismerésében is jelentős népegészségügyi potenciált hordozhat, hozzájárulva a megelőzhető látásromlás és vakság terhének csökkentéséhez [14].

## Etikai és adatvédelmi feltételek a mesterségesintelligencia-alapú szemészeti szűrésben

A mesterséges intelligencián alapuló szemészeti szűrés bevezetése nemcsak technológiai és szervezeti, hanem kiemelt etikai és adatvédelmi kérdéseket is felvet. A szemfenéki képek és a kapcsolódó klinikai információk az Európai Unió általános adatvédelmi rendelete (GDPR, Regulation [EU] 2016/679) szerint különleges kategóriába tartozó egészségügyi személyes adatoknak minősülnek, amelyek kezelése kizárólag meghatározott jogalap mellett, szigorú garanciák biztosításával történhet [50]. A rendelet előírja a célhoz kötött adatkezelést, az adatminimalizálás elvének érvényesítését, valamint a megfelelő technikai és szervezési intézkedések alkalmazását, ideértve a pseudoanonimizálást, a titkosítást, a hozzáférés-szabályozást és az adatkezelési műveletek nyomom követhetőségét [50]. Az orvosi célú, diagnosztikai mesterségesintelligencia-rendszerek az Európai Unió Mesterséges Intelligencia Rendelete alapján nagy kockázatú rendszernek minősülnek, ezért klinikai validációra, dokumentációra és folyamatos felügyeletre vonatkozó többletkövetelményeknek kell megfelelniük [18]. Emellett az ilyen rendszerek – amennyiben orvostechnikai eszköznek minősülnek – az Európai Unió orvostechnikai eszközökről szóló rendelete (MDR) hatálya alá tartoznak [17].

A mesterséges intelligencián alapuló szemészeti szűrés bevezetése során kiemelt jelentőségű, hogy a páciensek egyértelmű, közérthető tájékoztatást kapjanak arról, hogy szemfenéki képeiket és kapcsolódó egészségügyi adataikat mesterségesintelligencia-alapú rendszer is elemezheti, és ehhez érvényes, önkéntes hozzájárulásukat

adják. Az Európai Unió általános adatvédelmi rendelete (GDPR, Regulation [EU] 2016/679) szerint az egészségügyi adatok mint különleges személyes adatok kezelése minden esetben jogalaphoz kötött, és ha az adatkezelés nem más jogalapon történik, akkor a páciensek kifejezett, szabadon adható hozzájárulása szükséges [50]. Ezen túlmenően a nemzetközi etikai irányelvek legismertebb kutatásetikai irányelve, az Orvos Világszövetség Helsinki Nyilatkozata is egyértelműen rögzíti, hogy kifejezetten a kutatási célú adatfelhasználás során a tájékozott beleegyezés a résztvevők autonómiájának tiszteletben tartását szolgálja [51]. A mesterséges intelligenciával támogatott rendszerben történő másodlagos adatfelhasználás során – különösen kutatási vagy fejlesztési kontextusban – az átláthatóság és a betegautonómia érvényesítése etikai alapkövetelmény, amelyet a GDPR és nemzetközi etikai normák is megkövetelnek [50, 51].

Az etikai megfontolások közé tartozik, hogy a mesterségesintelligencia-rendszerek nem vehetik át teljes mértékben az orvosi felelősséget és döntéshozatalt, még autonóm működés esetén sem. Az orvostechonikai eszközökre vonatkozó, európai uniós MDR rendelet, valamint az újonnan elfogadott Mesterséges Intelligencia Rendelet a diagnosztikai célú szemészeti mesterségesintelligencia-rendszereket nagy kockázatú eszközként kezeli, és kifejezetten előírja az emberi felügyelet („human oversight”) biztosítását, a működés átláthatóságát, valamint a kockázatmenedzsment és a folyamatos teljesítménymonitorozás kötelezettségét [17, 18]. Ennek megfelelően a mesterséges intelligencia által szolgáltatott eredményeket minden esetben szakorvos által ellenőrzött döntéstámogató vagy triázsoló információként kell értelmezni, és a végső klinikai felelősség – különösen a terápiás döntések tekintetében – az ellátó orvosnál marad.

A döntési folyamat auditálhatósága szintén alapvető etikai elvárás. A mesterségesintelligencia-rendszerek működésének rekonstruálhatónak kell lennie annak érdekében, hogy vitás esetben egyértelműen visszakövethető legyen, milyen adatok és algoritmikus lépések vezettek az adott javaslatához [17, 18]. Ez nemcsak jogi, hanem szakmai és etikai szempontból is nélkülözhetetlen a betegbiztonság és a társadalmi bizalom fenntartásához.

Kiemelt etikai kérdés az algoritmikus torzítások (bias) kezelése és az ellátáshoz való egyenlő hozzáférés biztosítása. Amennyiben a mesterségesintelligencia-rendszerek fejlesztése túlnyomórészt más országokból származó, eltérő demográfiai vagy betegség spektrumú populációkon alapul, fennáll annak a veszélye, hogy bizonyos alcsoportok – például az idős, multimorbid vagy hátrányos helyzetű betegek – esetében csökken a diagnosztikai pontosság [1, 14, 40, 52]. Magyarországi alkalmazás esetén ezért etikai követelmény lenne a rendszerek hazai adatokon történő validálása, valamint teljesítményük folyamatos monitorozása különböző hazai betegcsoportokban [52].

A fejlesztési és bevezetési folyamat során elengedhetetlen a transzparens döntéshozatal és a társadalmi biza-

lom erősítése. A mesterségesintelligencia-alapú szűrésbe bevont intézményeknek és fejlesztőknek etikai bizottsági jóváhagyással, előzetes hatásvizsgálatokkal – így különösen adatvédelmi hatásvizsgálattal –, valamint egyértelműen definiált felelősségi és kártérítési szabályokkal kell rendelkezniük [17, 18, 52]. Az átláthatóság, a betegautonómia tiszteletben tartása és a méltányos hozzáférés biztosítása együttesen teremtheti meg azt az etikai keretet, amelyben a mesterségesintelligencia-alapú szemészeti szűrés hazai bevezetése hosszú távon is fenntartható és társadalmilag elfogadható lehet.

## Megbeszélés

A nemzetközi és hazai tapasztalatok összevetése alapján megállapítható, hogy Magyarországon a szemészeti szűrés lefedettsége és szervezetsége egyelőre elmarad azon országokétól, ahol szervezett, társadalombiztosítás által finanszírozott szemfenéki szűrőprogramok működnek. A diabeteses retinopathia szűrésének évenkénti lefedettsége a feltételezett szükséglethez képest elmarad a kívánatostól, ami elsősorban a szakorvosi kapacitás korlátozottságával, az egységes betegutak hiányával és a szűrés önálló finanszírozásának elmaradásával magyarázható [11, 31, 47].

A rendelkezésünkre álló hazai elemzések és nemzetközi tapasztalatok alapján úgy ítéljük meg, hogy a hazai szemészeti szűrési gyakorlat elsősorban szervezeti és finanszírozási okok miatt nem éri el azt a lefedettséget, amely szükséges lenne a RAAB-módszertannal végzett vizsgálatok által jelzett, döntően megelőzhető látásvesztésből adódó betegségteher érdemi csökkentéséhez. A szemész szakorvosok korlátozott száma, a nem orvosi szakemberek szűrésbe történő – de még nem egységesen szabályozott – bevonása, valamint az önálló, szemészeti szűrési OENO-kód hiánya együttesen tartják alacsony szinten a szemészeti szűrések számát. A jelenlegi gyakorlatban a szűrés többnyire a szemészeti szakvizsgálat „árnyékában” zajlik, nem pedig akár egy szervezett népegészségügyi programként.

A nemzetközi gyakorlat azt mutatja, hogy a szervezett, országos adatbázissal és egységes protokollal működő diabeteses retinopathia szűrési rendszerek stabil alapot biztosítanak a technológiai innovációk integrációjához. Az angliai NHS Diabetic Eye Screening Programme (DESP) példája igazolja, hogy a strukturált, társadalombiztosítás által finanszírozott, minőségbiztosított szűrési modell hosszú távon fenntartható módon működtethető [10, 37]. Az ilyen nagy volumenű rendszerekben az automatizált és mesterségesintelligencia-alapú retina-képelemző rendszerek elsősorban triázsoló eszközként jelennek meg, amelyek alkalmasnak bizonyultak a referálandó diabeteses retinopathia nagy érzékenységgel történő azonosítására, miközben jelentősen növelték a „grading” kapacitást [36]. Nemzetközi összefoglalók szerint a mesterségesintelligencia-rendszerek különösen a nem referálható esetek biztonságos kiszűrésében haté-

konyak, így csökkenthetik a humán értékelők terhelését anélkül, hogy a klinikailag releváns esetek detektálási aránya romlana [14, 49]. Ez a megközelítés nem az orvos helyettesítését, hanem a szakmai döntéshozatal támogatását és a kapacitások észszerűbb felhasználását célozza.

Véleményünk szerint a mesterséges intelligencia – szemészeti szűrésben is történő – hazai bevezetésének három alapfeltétele van. Elsőként, jogi és etikai szempontból csak az Európai Unió orvostechnikai eszközökre vonatkozó MDR rendelete és az újonnan elfogadott Mesterséges Intelligencia Rendelet követelményeinek megfelelő, valamint Magyarország Mesterséges Intelligencia Stratégiájával összhangban lévő, klinikailag validált, nagy kockázatú orvostechnikai eszközként bejegyzett, auditálható működésű mesterségesintelligencia-rendszer alkalmazható [17, 18, 52]. Második feltételként olyan szervezeti struktúra kialakítása szükséges, amely lehetővé teszi az optometristák, védőnők és más szakdolgozók bevonását a képzési folyamatba, miközben az értékelés szakmailag ellenőrzött, központi rendszerben történik. Emellett a diabeteses betegek gondozásában részt vevő háziorvosok és diabetológusok bevonása is indokolt lehet, mivel a célpopuláció ezeken az ellátási szinteken koncentráltan jelenik meg. Harmadik feltételként meg kell említeni a finanszírozást: a szűrés csak akkor terjedhet el széles körben, ha önállóan vagy normatív módon elismert egészségügyi tevékenységként jelenik meg a közfinanszírozott ellátórendszerben.

A hazai bevezetés szempontjából mérlegelendő, hogy kész, nemzetközileg validált („dobozos”) mesterségesintelligencia-rendszert alkalmazunk-e, vagy hosszabb távon saját fejlesztésű megoldást alakítunk ki. A CE-jelöléssel vagy FDA-engedéllyel rendelkező rendszerek előnye a gyors bevezethetőség és az igazolt klinikai teljesítmény, ugyanakkor korlátozottan illeszthetők a hazai betegutakhoz és finanszírozási struktúrához. Rövid távon ezért egy átmeneti, hibrid modell alkalmazása tűnik reálisnak, amely lehetőséget ad a tapasztalatszerzésre és a későbbi, hazai fejlesztés megalapozására.

## Következtetés

A látásvesztés megelőzése és a szemészeti betegségek korai felismerése továbbra is jelentős népegészségügyi kihívást jelent Magyarországon. A jelenlegi ellátórendszer humánerőforrás- és finanszírozási adottságai mellett a szemfenéki szűrés lefedettsége nem éri el azt a szintet, amely a megelőzhető látásromlások következetes és időben történő felismeréséhez szükséges. A nemzetközi tapasztalatok ugyanakkor arra utalnak, hogy szervezett, standardizált, társadalombiztosítási finanszírozású rendszerekben a mesterséges intelligenciával támogatott szemészeti szűrés hozzájárulhat a korai felismeréshez és a vakság incidenciájának csökkentéséhez.

A mesterségesintelligencia-alapú megoldások alkalmazása elsősorban döntéstámogató és triázsoló szerepben

értelmezhető, nem az orvosi döntéshozatal kiváltására, hanem annak támogatására szolgál. A nemzetközi gyakorlat alapján a mesterséges intelligencia képes lehet tehermentesíteni a szakorvosi ellátást, miközben a diagnosztikai minőség fenntartható, illetve egységesebb szintre hozható. Ez különösen fontos lehet olyan egészségügyi környezetben, ahol a szakorvosi kapacitások korlátozottak, miközben a szűrés iránti igény folyamatosan növekszik. A technológia hazai alkalmazása ugyanakkor nem tekinthető pusztán technológiai kérdésnek. A sikeres bevezetés feltétele a megfelelő jogi és etikai keretek biztosítása, beleértve az emberi felügyelet érvényesítését, valamint az adatkezelés átlátható és biztonságos megvalósítását. Emellett meghatározó szerepe van a szervezeti és finanszírozási háttérnek, különösen az egységes betegutak kialakításának, a szakdolgozók és optometristák strukturált bevonásának, valamint a szűrés önálló vagy normatív módon elismert finanszírozásának.

Összességében a mesterségesintelligencia-alapú szemfenéki szűrés magyarországi alkalmazása olyan, fokozatosan bevezethető lehetőségként értelmezhető, amely megfelelő előkészítés és pilot jellegű tapasztalatszerzés mellett hozzájárulhat a szemészeti szűrés hatékonyságának javításához. Egy strukturált, országos megközelítés hosszabb távon elősegítheti a megelőzhető látásromlás betegségeit mérséklését, valamint hozzájárulhat a szemészeti ellátás fenntarthatóbb működéséhez.

*Anyagi támogatás:* A tanulmány megírása, illetve a kapcsolódó kutatómunka nem részesült anyagi támogatásban.

*Szerzői munkamegosztás:* V. E.: A kézirat koncepciója, irodalomkutatás, a kézirat elsődleges szövegezése. Sz.-N. B., P.-J. Á., K. V.: A kézirat véleményezése. P. M.: A kézirat koncepcionális és tartalmi felülvizsgálata, szakirodalom-kutatás, a kézirat szerkesztése. S. Á., R. M.: A kézirat tartalmi felülvizsgálata és véleményezése. A. Zs.: Szakirodalom-kutatás, a kézirat véleményezése. A közlemény végleges változatát valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

*Érdekltségek:* A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

## Irodalom

- [1] World Health Organization. World report on vision 2019. Geneva; 2019. Available from: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/a1406549-82eb-468b-a5a7-1c30a233eb2f/content> [accessed: January 27, 2026].
- [2] Li JQ, Welchowski T, Schmid M, et al. Retinal diseases in Europe: Prevalence, incidence and healthcare needs 2017. EURETINA-European Society of Retina Specialists, Bonn, Germany; 2017. Available from: <https://euretina.org/resource/euretina-whitebook-on-prevalence-incidence-and-healthcare-needs-for-retinal-diseases-in-europe/> [accessed: January 27, 2026].
- [3] Tóth G, Szabó D, Sándor GL, et al. Visual impairment and blindness caused by posterior segment diseases in Hungary in people aged 50 years and older. [Hátszövegmenet-betegségek

- okozta látásromlás és vakság Magyarországon az 50 évnél idősebb korú lakosság körében.] *Orv Hetil.* 2022; 163: 624–630. [Hungarian]
- [4] Németh J, Szabó D, Tóth G, et al. Feasibility of the rapid assessment of avoidable blindness with diabetic retinopathy module (RAAB+DR) in industrialised countries: challenges and lessons learned in Hungary. *Ophthalmic Epidemiol.* 2018; 25: 273–279.
- [5] Joó T, Fadgyas-Freyler P, Vitrai J, et al. The social cost of ill health among the working-age population in 2019 in Hungary. [Az egészségkárosodás társadalmi költségei a munkaképes korú lakosság körében 2019-ben Magyarországon.] *Orv Hetil.* 2024; 165: 110–120. [Hungarian]
- [6] Klein R, Klein BE. The Prevalence of age-related eye diseases and visual impairment in aging: current estimates. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013; 54: ORSF5–13.
- [7] Nagy ZZs. Epidemiology of eye diseases associated with older age. [Idős korral járó szembetegségek epidemiológiája.] *Magy Tud.* 2021; 182: 1001. [Hungarian]
- [8] Bourne R, Steinmetz JD, Flaxman S, et al. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Global Health* 2020; 9: e130–e143.
- [9] Steinmetz JD, Bourne RR, Briant PS, et al. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Global Health* 2020; 9: e144–e160.
- [10] NHS England. Guidance: Diabetic eye screening: programme overview 2024. Available from: <https://www.gov.uk/guidance/diabetic-eye-screening-programme-overview> [accessed: January 27, 2026].
- [11] Bedros JR, Jermendy Gy, Gaál Zs, et al. Healthcare professional guideline: On the diagnosis of diabetes mellitus, antihyperglycemic treatment and care of diabetic patients in adulthood. [Egészségügyi szakmai irányelv: A diabetes mellitus kórismezéséről, a cukorbeteg antihyperglykaemiás kezeléséről és gondozásáról felnőttkorban.] *Diabetol Hung.* 2023; 31: 331–444. [Hungarian]
- [12] Hungarian Central Statistical Office. Prevalence rate of chronic diseases as a proportion of the total population. [Központi Statisztikai Hivatal. Krónikus betegségek előfordulási aránya az összlakosságszám arányában.] Available from: <https://ksh.hu/k/iadvanyok/fenntarthato-fejlodes-indikatorai/2024/1-17#2-abra> [accessed: January 27, 2026]. [Hungarian]
- [13] Abrámoff 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 Digital Med.* 2018; 1: 39.
- [14] Ting DS, Pasquale LR, Peng L, et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol.* 2019; 103: 167–175.
- [15] Surya J, Garima, Pandey N, et al. Efficacy of deep learning-based artificial intelligence-models in screening and referring patients with diabetic retinopathy and glaucoma. *Indian J Ophthalmol.* 2023; 71: 3039–3045.
- [16] Németh J, Tapasztó B, Karacs K, et al. The role of artificial intelligence in ophthalmic patient care, research and education. [Mesterséges intelligencia szerepe a szemészeti betegellátásban, kutatásban és oktatásban.] *Szemészet* 2024; 161: 129–133. [Hungarian]
- [17] Regulation (EU) 2017/745 of the European Parliament and of the Council of 5 April 2017 on medical devices, amending Directive 2001/83/EC, Regulation (EC) No 178/2002 and Regulation (EC) No 1223/2009 and repealing Council Directives 90/385/EEC and 93/42/EEC (Text with EEA relevance). Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02017R0745-20260101> [accessed: January 27, 2026].
- [18] Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act) (Text with EEA relevance). Available from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng> [accessed: January 27, 2026].
- [19] Maka E, Kovács G, Imre L, et al. The validity of telemedicine-based screening for retinopathy of prematurity in the Premature Eye Rescue Program in Hungary. *J Telemed Telecare* 2021; 27: 367–375.
- [20] Németh J, Maka E, Szabó D, et al. Operating telemedicine ophthalmic screening programs and their possibilities in Hungary. [Működő telemedicinális szemészeti szűrőprogramok és lehetőségek hazánkban.] *IME* 2019; 18: 46–51. [Hungarian]
- [21] Vadas-Varga K, Barbarics J, Bankó ÉM, et al. Vision saved: the first four years of the pediatric ophthalmology screening program of the Hungarian Charity Service of the Order of Malta – Part I: Amblyopia prevention. [Megmentett látások: a Magyar Máltai Szeretetszolgálat Gyermekszemészeti Szűrőcsoportjának első négy éve I. A tompalátás megelőzése.] *Orv Hetil.* 2025; 166: 1181–1194. [Hungarian]
- [22] Eszes DJ, Szabó DJ, Russell G, et al. Diabetic retinopathy screening using telemedicine tools: Pilot study in Hungary. *J Diabetes Res.* 2016; 2016: 4529824.
- [23] Németh J, Nyitrai B, Karacs K, et al. Accuracy of telemedicine evaluation of OCT findings in diabetics. [OCT-leletek telemedicinális értékelésének pontossága cukorbetegben.] *Szemészet* 2022; 159: 64–68. [Hungarian]
- [24] Hungarian Central Statistical Office. Unified Classification System of Occupations: 2222 Optometrist. [Központi Statisztikai Hivatal. Foglalkozások Egységes Osztályozási Rendszere (FEOR-08): 2222 Optometrista.] Available from: <https://www.ksh.hu/docs/szolgáltatások/hun/feor08/2/2222.html> [accessed: February 24, 2026]. [Hungarian]
- [25] Hungarian Central Statistical Office. STADAT tables: 4.1.1.8. Health visitors. [Központi Statisztikai Hivatal. STADAT-táblák: 4.1.1.8. Védőnők.] Available from: [https://www.ksh.hu/statdat\\_files/ege/hu/ege0008.html](https://www.ksh.hu/statdat_files/ege/hu/ege0008.html) [accessed: February 20, 2026]. [Hungarian]
- [26] Decree No. 51/1997 (XII. 18.) of the Minister of Health on health services for the prevention and early detection of diseases available under compulsory health insurance and on the certification of screening tests. [51/1997. (XII. 18.) NM rendelet a kötelező egészségbiztosítás keretében igénybe vehető betegségek megelőzését és korai felismerését szolgáló egészségügyi szolgáltatásokról és a szűrővizsgálatok igazolásáról.] Available from: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700051.nm> [accessed: February 20, 2026]. [Hungarian]
- [27] Barcsay-Veres A, Szamosi A, Bausz M, et al. The impact of district nurses in screening visual impairments. [A védőnők szerepe a gyermekkori látásproblémák felismerésében.] *Orv Hetil.* 2023; 164: 88–95. [Hungarian]
- [28] Barna I, Balogh Z, Daiki T, et al. Hungary's comprehensive health screening program 2010–2022. [Magyarország átfogó egészségvédelmi szűrőprogramja 2010–2022.] *Lege Artis Med.* 2023; 33(Suppl): 1–44. [Hungarian]
- [29] Dózsa Cs, Tóth M, Sipos I, et al. Trends, challenges and answers in the public financing of ophthalmology from 2008 to the present. [Trendek, kihívások és válaszok a szemészeti ellátás közfinanszírozásában 2008-tól napjainkig, Magyarországon.] *IME* 2024; 23: 5–16. [Hungarian]
- [30] Resnikoff S, Lansingh VC, Washburn L, et al. Estimated number of ophthalmologists worldwide. (International Council of Oph-

- thalmology update): will we meet the needs? *Br J Ophthalmol.* 2020; 104: 588–592.
- [31] Csutak A, Werling D, Lantos K. The changing practice of screening for diabetic retinopathy. [Diabéteszes retinopathia szűrésének változó gyakorlata.] *Szemészet* 2021; 158: 122–132. [Hungarian]
- [32] National Research, Development and Innovation Office. Calculation of FTE value in connection with grant applications. [Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal. FTE érték számítása pályázatokkal összefüggésben.] Budapest, 2019. [Hungarian]
- [33] Government Decree No. 43/1999 (III. 3.) on the detailed rules for financing health services from the Health Insurance Fund. [43/1999. (III. 3.) Korm. rendelet az egészségügyi szolgáltatások Egészségbiztosítási Alapból történő finanszírozásának részletes szabályairól.] Available from: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99900043.kor> [accessed: February 22, 2026]. [Hungarian]
- [34] Nagy ZZs, Papp A. Characteristics of diabetic macular oedema, modern treatment options and the state of care in Hungary. [A diabéteszes makulaödéma jellemzői, korszerű kezelési lehetőségei és ellátási helyzete Magyarországon.] *Szemészet* 2023; 160: 168–176. [Hungarian]
- [35] Tóth G, Nagy ZZs, Németh J. Model-based economic burden of diabetic retinopathy in Hungary. [A cukorbetegség szemészeti szövődményeinek modellalapú költségterhe Magyarországon.] *Orv Hetil.* 2021; 162: 298–305. [Hungarian]
- [36] Rudnicka AR, Shakespeare R, Chambers R, et al. Automated retinal image analysis systems to triage for grading of diabetic retinopathy: a large-scale, open-label, national screening programme in England. *Lancet Digital Health* 2025; 7: 100914.
- [37] Scanlon PH. The English National Screening Programme for diabetic retinopathy 2003–2016. *Acta Diabetol.* 2017; 54: 515–525.
- [38] Olafsdottir E, Andersson DK, Dedorsson I, et al. The prevalence of retinopathy in subjects with and without type 2 diabetes mellitus. *Acta Ophthalmol.* 2014; 92: 133–137.
- [39] Grzybowski A, Brona P, Lim G, et al. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye (Lond).* 2020; 34: 451–460. Erratum: *Eye (Lond).* 2020; 34: 604.
- [40] Huemer J, Wagner SK, Sim DA. The evolution of diabetic retinopathy screening programmes: a chronology of retinal photography from 35 mm slides to artificial intelligence. *Clin Ophthalmol.* 2020; 14: 2021–2035.
- [41] Ku JJ, Landers J, Henderson T, et al. The reliability of single-field fundus photography in screening for diabetic retinopathy: the Central Australian Ocular Health Study. *Med J Aust.* 2013; 198: 93–96.
- [42] Glasson NM, Crossland LJ, Larkins SL. An innovative Australian outreach model of diabetic retinopathy screening in remote communities. *J Diabetes Res.* 2016; 2016: 1267215.
- [43] Khou V, Khan MA, Jiang IW, et al. Evaluation of the initial implementation of a nationwide diabetic retinopathy screening programme in primary care: a multimethod study. *BMJ Open* 2021; 11: e044805.
- [44] Quinn N, Brazionis L, Zhu B, et al. Facilitating diabetic retinopathy screening using automated retinal image analysis in under-resourced settings. *Diabet Med.* 2021; 38: e14582.
- [45] Rajesh AE, Davidson OQ, Lee CS, et al. Artificial intelligence and diabetic retinopathy: AI framework, prospective studies, head-to-head validation, and cost-effectiveness. *Diabetes Care* 2023; 46: 1728–1739.
- [46] Kubin AM, Huhtinen P, Ohtonen P, et al. Comparison of 21 artificial intelligence algorithms in automated diabetic retinopathy screening using handheld fundus camera. *Ann Med.* 2024; 56: 2352018.
- [47] Zeffér T, B. Tóth B, Vizvári E, et al. A model of diabetic retinopathy screening in Hungary. [A retinopathia diabética szűrési modellje Magyarországon.] *Szemészet* 2021; 158: 133–137. [Hungarian]
- [48] Szalai E, Kölkedi Zs, Csutak A. Screening of microvascular and neurodegenerative complications of diabetes mellitus using ophthalmic examination methods. [A cukorbetegség microvasculáris és neurodegeneratív szövődményeinek vizsgálata szemészeti módszerekkel.] *Orv Hetil.* 2025; 166: 953–960. [Hungarian]
- [49] Gunasekeran DV, Ting DS, Tan GS, et al. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening, prediction and management. *Curr Opin Ophthalmol.* 2020; 31: 357–365.
- [50] European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation) (Text with EEA relevance). Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02016R0679-20160504> [accessed: February 22, 2026].
- [51] Kakuk P, Kardon T, Szamosi B, et al. The Declaration of Helsinki is 60 years old. Hungarian translation of modified version of the World Medical Association Declaration of Helsinki (2024). [A 60 éves Helsinki Nyilatkozat 2024-ben elfogadott módosított verziója.] *Orv Hetil.* 2025; 166: 549–556. [Hungarian]
- [52] Ministry of National Economy. Artificial Intelligence Strategy of Hungary, 2025–2030. [Nemzetgazdasági Minisztérium. Magyarország Mesterséges Intelligencia Stratégiája 2025–2030.] Available from: <https://kormany.hu/dokumentumtar/magyarorszag-mesterseges-intelligencia-strategiaja-2025-2030-1> [accessed: February 23, 2026]. [Hungarian]

(Pénzes Melinda dr.,  
Budapest, Kútvolgyi út 2., 1125  
e-mail: penzes.melinda@semmelweis.hu)