

UDK: 617.735-007.281:616.379-008.64:004.8

**QANDLI DIABET RETINOPATIYASIDA SUN'IIY INTELLEKT
ASOSIDAGI ERTA DIAGNOSTIKA VA INDIVIDUAL
PROGNOZLASHTIRISH TIZIMLARINING KLINIK SAMARADORLIGI:
KO'P MARKAZLI KLINIK TAHLIL VA YANGI SKRINING ALGORITMI**

Ismatova Umida Foziljon qizi

Samarqand Zarmed Universiteti, Davolash ishi fakulteti talabasi

Ish joyi va lavozimi: *Zarmed Universiteti Ilmiy ishlar menejeri*

Mamatqulov Abdusalom Saydulla o'g'li

Samarqand Zarmed Universiteti Davolash ishi yo'nlishi talasi

Ismatov Xusan Akmalovich

Samarqand Zarmed Universiteti Davolash ishi yo'nlishi talasi

Annotatsiya. *Qandli diabet retinopatiyasi (QDR) butun dunyoda mehnatga layoqatli aholida qaytarilmas ko'rlikning asosiy sabablaridan biri hisoblanadi. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti ma'lumotlariga ko'ra, diabet bilan kasallangan bemorlar sonining ortib borishi diabetik retinopatiya uchrash chastotasining ham keskin oshishiga olib kelmoqda. Kasallikning dastlabki bosqichlarida klinik belgilar kam namoyon bo'lishi sababli ko'plab bemorlar kech bosqichlarda shifokorga murojaat qiladi, bu esa davolash samaradorligini pasaytiradi.*

Mazkur tadqiqotning maqsadi qandli diabet retinopatiyasini erta aniqlashda sun'iy intellekt texnologiyalarining diagnostik imkoniyatlarini baholash, OCT (Optical Coherence Tomography), OCT-Angiography va fundus fotografiyasi natijalari asosida individual xavf prognozini ishlab chiqish hamda yangi skrining algoritmini taklif etishdan iborat.

*2023–2026-yillar davomida Respublikaning uchta ixtisoslashtirilgan oftalmologiya markazida davolangan **548 nafar** qandli diabet bilan kasallangan bemor klinik kuzatuvga olindi. Tadqiqot davomida bemorlarning fundus tasvirlari, OCT va OCTA ko'rsatkichlari chuqur o'rganildi. Sun'iy intellekt asosidagi konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) yordamida retinal mikroanevrizmlar, qon quyilishlar, qattiq ekssudatlar va neovaskulyarizatsiya belgilarini avtomatik aniqlash amalga oshirildi.*

Natijalarga ko'ra, sun'iy intellekt asosidagi diagnostika tizimi diabetik retinopatiyani aniqlashda 97,8 % sezuvchanlik, 96,9 % spetsifiklik va 97,3 % umumiy diagnostik aniqlik ko'rsatkichlarini namoyon etdi. An'anaviy oftalmoskopik tekshiruv bilan taqqoslaganda, kasallikning erta bosqichlarini aniqlash samaradorligi 18,6 % ga, skrining o'tkazish tezligi esa 61,4 % ga oshgani kuzatildi.

Taklif etilgan yangi sun'iy intellekt asosidagi skrining algoritmi diabetik retinopatiyani erta bosqichlarda aniqlash, ko'rlikning oldini olish hamda bemorlarni individual monitoring qilish imkoniyatlarini sezilarli darajada yaxshilashi aniqlandi.

Kalit so'zlar: *qandli diabet, diabetik retinopatiya, sun'iy intellekt, OCT, OCTA, fundus fotografiyasi, chuqur o'rganish, CNN, skrining, oftalmologiya, retinal mikroangiopatiya.*

Abstract. *Clinical Effectiveness of Artificial Intelligence-Based Early Diagnosis and Individual Prediction Systems in Diabetic Retinopathy: A Multicenter Clinical Analysis and Novel Screening Algorithm.*

Diabetic retinopathy (DR) remains one of the leading causes of preventable blindness among the working-age population worldwide. Early detection remains challenging because initial retinal changes are frequently asymptomatic. This study evaluated the diagnostic performance of artificial intelligence algorithms combined with optical coherence tomography (OCT), OCT angiography (OCTA), and retinal fundus imaging for early detection of diabetic retinopathy.

A multicenter clinical study involving 548 patients diagnosed with diabetes mellitus between 2023 and 2026 was conducted. Deep convolutional neural network algorithms automatically identified retinal microaneurysms, hemorrhages, hard exudates, and neovascularization.

Artificial intelligence achieved 97.8% sensitivity, 96.9% specificity, and 97.3% diagnostic accuracy, outperforming conventional ophthalmologic screening. Early-stage diabetic retinopathy detection increased by 18.6%, while screening time decreased by 61.4%.

The proposed AI-based screening algorithm demonstrated high clinical effectiveness and may significantly improve early diagnosis, individualized patient monitoring, and prevention of diabetes-related blindness.

Keywords: *diabetic retinopathy, diabetes mellitus, artificial intelligence, OCT, OCTA, retinal imaging, deep learning, convolutional neural networks, screening, ophthalmology.*

Аннотация: *Клиническая эффективность систем ранней диагностики и индивидуального прогнозирования диабетической ретинопатии на основе искусственного интеллекта: многоцентровый клинический анализ и новый алгоритм скрининга*

Диабетическая ретинопатия является одной из ведущих причин предотвратимой слепоты среди трудоспособного населения. В исследование были включены 548 пациентов, обследованных в 2023–2026 годах. Использование искусственного интеллекта совместно с OCT, OCTA и цифровой фотографией глазного дна позволило достичь чувствительности 97,8 %, специфичности 96,9 % и общей диагностической точности 97,3 %. Разработанный алгоритм значительно повышает эффективность раннего выявления заболевания и позволяет оптимизировать массовый скрининг пациентов с сахарным диабетом.

Ключевые слова: *диабетическая ретинопатия, искусственный интеллект, сахарный диабет, OCT, OCTA, офтальмология, скрининг.*

Kirish

Qandli diabet (QD) XXI asrning eng dolzarb surunkali metabolik kasalliklaridan biri bo‘lib, butun dunyo sog‘liqni saqlash tizimi uchun jiddiy tibbiy-ijtimoiy muammo hisoblanadi. Kasallikning uzoq muddat davom etishi natijasida yuzaga keladigan mikroangiopatik asoratlari orasida diabetik retinopatiya (DR) eng ko‘p uchraydigan va ko‘rish qobiliyatining qaytarilmas yo‘qolishiga olib keluvchi patologiyalardan biridir. Diabetik retinopatiya retinal kapillyarlarning shikastlanishi, qon-retina to‘sig‘ining buzilishi, mikroanevrizmlar, qon quyilishlar, qattiq ekssudatlar, makulyar shish hamda neovaskulyarizatsiya rivojlanishi bilan tavsiflanadi.

So‘nggi yillarda qandli diabet bilan kasallangan bemorlar sonining jadal ortishi diabetik retinopatiyaning tarqalish darajasini ham sezilarli oshirdi. Kasallikning dastlabki bosqichlarida klinik belgilar deyarli kuzatilmaligi sababli bemorlarning aksariyatida tashxis kech qo‘yiladi. Natijada proliferativ retinopatiya, diabetik makulyar shish va qaytarilmas ko‘rlik rivojlanish xavfi ortadi.

An'anaviy diagnostika usullari — oftalmoskopiya, fundus fotografiyasi va fluoresseini angiografiya yuqori diagnostik ahamiyatga ega bo'lishiga qaramasdan, ularning natijalari ko'p jihatdan mutaxassis tajribasiga bog'liq. So'nggi yillarda Optical Coherence Tomography (OCT), Optical Coherence Tomography Angiography (OCTA), yuqori aniqlikdagi fundus kameralar hamda sun'iy intellekt algoritmlarining rivojlanishi diabetik retinopatiyani avtomatlashtirilgan tarzda aniqlash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi.

Chuqur o'rganish (Deep Learning) va konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) asosida ishlab chiqilgan zamonaviy algoritmlar retinal tasvirlarda inson ko'zi ilg'ashi qiyin bo'lgan minimal patologik o'zgarishlarni ham aniqlash imkonini bermoqda. Natijada skrining samaradorligi oshmoqda, tashxis qo'yish vaqti qisqarmoqda hamda inson omili bilan bog'liq diagnostik xatolar kamaymoqda.

Bundan tashqari, sun'iy intellekt asosida bemorning yoshini, diabet davomiyligini, glikemik nazorat darajasini (HbA1c), arterial gipertenziya mavjudligini, lipid almashinuvini va retinal mikroo'zgarishlarni birgalikda baholash orqali individual xavfni prognozlash imkoniyati paydo bo'ldi. Bu esa profilaktik davolashni erta boshlash va ko'rlik rivojlanishining oldini olishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Shu sababli diabetik retinopatiyani sun'iy intellekt asosida erta aniqlash, individual prognozlash hamda yangi skrining algoritmlarini ishlab chiqish zamonaviy oftalmologiya va raqamli tibbiyotning eng istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Mavzuning dolzarbligi. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti va Xalqaro diabet federatsiyasi ma'lumotlariga ko'ra, 2025-yil holatiga dunyo bo'yicha qandli diabet bilan yashayotgan bemorlar soni **600 milliondan ortiq** bo'lib, 2045-yilga borib ushbu ko'rsatkich **780 milliondan oshishi** prognoz qilinmoqda. Epidemiologik tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, qandli diabet bilan kasallangan bemorlarning **taxminan uchdan bir qismida** turli darajadagi diabetik retinopatiya rivojlanadi, ularning **10–12 %** ida esa ko'rish qobiliyatiga jiddiy xavf tug'diruvchi proliferativ retinopatiya yoki diabetik makulyar shish kuzatiladi.

O'zbekistonda ham diabet bilan kasallanish ko'rsatkichlari yildan-yilga ortib bormoqda. Bemorlarning ko'pchiligida muntazam oftalmologik skrining o'tkazilmasligi, zamonaviy diagnostika texnologiyalarining barcha hududlarda bir xil darajada mavjud emasligi hamda kasallikning boshlang'ich bosqichlari

simptomsiz kechishi natijasida diabetik retinopatiya ko‘pincha kech bosqichlarda aniqlanmoqda. Bu esa nogironlik, mehnat qobiliyatining pasayishi va davolash xarajatlarining ortishiga olib kelmoqda.

Sun‘iy intellekt texnologiyalarini oftalmologik skrining tizimlariga integratsiya qilish orqali retinal tasvirlarni avtomatik tahlil qilish, yuqori xavf guruhlarni erta aniqlash, bemorlarni individual monitoring qilish va davolash samaradorligini oshirish imkoniyati yaratilmoqda. Ayniqsa, birlamchi tibbiy bo‘g‘inda AI asosidagi skrining tizimlarining joriy etilishi oftalmolog mutaxassislari yetishmovchiligi mavjud hududlarda katta amaliy ahamiyat kasb etadi.

Mazkur tadqiqotning dolzarbligi aynan diabetik retinopatiyaning erta diagnostikasini takomillashtirish, zamonaviy sun‘iy intellekt algoritmlarining klinik samaradorligini baholash va O‘zbekiston sharoitiga mos innovatsion skrining algoritmini ishlab chiqish zarurati bilan belgilanadi.

Adabiyotlar tahlili

So‘nggi besh yil davomida diabetik retinopatiyani sun‘iy intellekt asosida tashxislash bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar ushbu texnologiyalarning yuqori samaradorligini ko‘rsatmoqda. Xalqaro klinik tadqiqotlarda CNN arxitekturasida asosidagi algoritmlar fundus tasvirlarida mikroanevrizma, qon quyilishlar, paxtasimon eksudatlar va neovaskulyarizatsiyani yuqori aniqlik bilan aniqlay olishi isbotlangan.

Google DeepMind, IDx-DR, EyeArt, RetinaNet kabi tizimlar klinik amaliyotda muvaffaqiyatli qo‘llanilib, ko‘plab mamlakatlarda diabetik retinopatiya skrining dasturlariga integratsiya qilinmoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, sun‘iy intellekt yordamida avtomatlashtirilgan tahlil skrining vaqtini 50–70 % gacha qisqartirishi va diagnostik aniqlikni 95 % dan yuqori darajaga yetkazishi mumkin.

Shuningdek, OCT va OCTA tasvirlarini chuqur o‘rganish algoritmlari bilan birgalikda tahlil qilish diabetik makulyar shish va retinal mikrovaskulyar o‘zgarishlarni klinik belgilar yuzaga kelishidan oldin aniqlash imkonini bermoqda. Bu esa individual xavfni baholash va davolash taktikasini tanlashda muhim ustunlik hisoblanadi.

Biroq, Markaziy Osiyo mamlakatlari, jumladan O‘zbekiston sharoitida sun‘iy intellekt asosidagi skrining tizimlarining klinik samaradorligini baholashga oid tadqiqotlar yetarli emas. Mazkur ilmiy ish ushbu bo‘shliqni qisman to‘ldirishga qaratilgan.

Tadqiqot maqsadi. Qandli diabet retinopatiyasini erta bosqichlarda aniqlashda sun'iy intellekt asosidagi diagnostik algoritmlarning klinik samaradorligini baholash, Optical Coherence Tomography (OCT), Optical Coherence Tomography Angiography (OCTA) va fundus fotografiyasi ma'lumotlari asosida individual xavfni prognozlash modelini ishlab chiqish hamda amaliy sog'liqni saqlash tizimiga mos yangi skrining algoritmini taklif etish.

Tadqiqot vazifalari. Tadqiqot maqsadidan kelib chiqib quyidagi vazifalar belgilandi: qandli diabet retinopatiyasining klinik va epidemiologik xususiyatlarini o'rganish, retinal strukturaviy va mikrovaskulyar o'zgarishlarni OCT va OCTA yordamida baholash, fundus fotografiyalari asosida sun'iy intellekt algoritmlarining diagnostik imkoniyatlarini aniqlash, AI diagnostikasi va an'anaviy oftalmologik tekshiruv natijalarini taqqoslash, diabetik retinopatiya rivojlanishining asosiy xavf omillarini statistik baholash, klinik amaliyot uchun yangi skrining algoritmini ishlab chiqish.

Tadqiqot materiallari va metodlari:

Mazkur tadqiqot **2023–2026-yillar** davomida Respublikaning uchta ixtisoslashtirilgan oftalmologiya markazida olib borildi. Tadqiqotga **548 nafar** qandli diabet bilan kasallangan bemor jalb qilindi.

Bemorlar quyidagi mezonlar asosida tanlab olindi:

Kiritish mezonlari: 18 yoshdan katta bemorlar, 1- yoki 2-tip qandli diabet tashxisi tasdiqlangan, kamida 1 yil davomida diabet bilan kasallangan, fundus fotografiyasi va OCT tekshiruvini o'tkazish imkoniyati mavjudligi, yozma rozilik bergan bemorlar.

Chiqarish mezonlari: ko'zning boshqa og'ir kasalliklari, retina operatsiyasi o'tkazilgan bemorlar, ko'zning og'ir travmalari, tasvir sifati yetarli bo'lmagan holatlar, to'liq klinik ma'lumot mavjud bo'lmagan bemorlar.

Tadqiqot dizayni: Tadqiqot **prospektiv, ko'p markazli, kuzatuv tipidagi klinik tadqiqot** sifatida tashkil etildi.

Barcha bemorlarda quyidagi tekshiruvlar o'tkazildi: ko'rish o'tkirligini aniqlash, biomikroskopiya, tonometriya, oftalmoskopiya, rangli fundus fotografiyasi, OCT, OCT Angiography, HbA1c darajasi, arterial qon bosimi, lipid profili, kreatinin, glomerulyar filtratsiya tezligi. Sun'iy intellekt algoritmi retinal tasvirlarni avtomatik tahlil qilish uchun maxsus ishlab chiqilgan konvolyutsion neyron tarmoq (CNN) modeli asosida ishladi.

Model quyidagi patologik belgilarni avtomatik aniqladi: mikroanevrizmlar, retinal qon quyilishlari, qattiq eksudatlar, yumshoq eksudatlar, diabetik makulyar shish, neovaskulyarizatsiya, ishemik zonalar, foveal avaskulyar zonadagi oʻzgarishlar.

Jadval 1.

Tadqiqot ishtirokchilarining umumiy tavsifi (n = 548)

Koʻrsatkich	Qiymat
Jami bemorlar	548
Erkaklar	287 (52,4%)
Ayollar	261 (47,6%)
Oʻrtacha yosh	56,8 ± 10,7 yil
1-tip diabet	146 (26,6%)
2-tip diabet	402 (73,4%)
Diabet davomiyligi	11,2 ± 5,8 yil
HbA1c oʻrtacha	8,7 ± 1,4 %

Tahlil natijalariga koʻra, tadqiqot ishtirokchilarining asosiy qismini 2-tip qandli diabet bilan kasallangan bemorlar tashkil etdi. Diabet davomiyligi 10 yildan ortiq boʻlgan bemorlarda retinopatiya uchrash chastotasi sezilarli yuqori ekani kuzatildi.

Jadval 2.

Diabetik retinopatiya bosqichlari boʻyicha bemorlarning taqsimlanishi

Retinopatiya turi	Bemorlar soni	%
Retinopatiya aniqlanmadi	118	21,5
Yengil NPDR	164	29,9
Oʻrta NPDR	121	22,1
Ogʻir NPDR	79	14,4
Proliferativ DR	66	12,1

NPDR — Non-Proliferative Diabetic Retinopathy.

Natijalardan ko‘rinadiki, bemorlarning **78,5 %** ida diabetik retinopatiyaning turli bosqichlari aniqlandi. Eng ko‘p uchragan shakl yengil non-proliferativ diabetik retinopatiya bo‘ldi.

Statistik tahlil:

Statistik ishlov berish **IBM SPSS Statistics 27.0** va **R Statistical Software (4.3.1)** dasturlari yordamida amalga oshirildi.

Natijalar **o‘rtacha qiymat $\pm$ standart og‘ish ($M \pm SD$)** ko‘rinishida ifodalandi.

Guruhlararo farqlar: Student t-testi, Mann–Whitney U testi, χ^2 testi, Fisherning aniq testi, logistika regressiyasi, ROC-egri chiziq tahlili yordamida baholandi.

$p < 0,05$ statistik ishonchlilik mezoni sifatida qabul qilindi.

Etik masalalar: Tadqiqot **Helsinki deklaratsiyasi (2013-yil tahriri)** tamoyillariga muvofiq amalga oshirildi. Tadqiqotda ishtirok etgan barcha bemorlardan yozma ravishda xabardor qilingan rozilik olindi. Shaxsiy ma’lumotlarning maxfiyligi to‘liq ta’minlandi hamda barcha klinik ma’lumotlar anonimlashtirilgan holda statistik tahlil qilindi.

Tadqiqot natijalari

548 nafar qandli diabet bilan kasallangan bemorlarning klinik, laborator va instrumental tekshiruv natijalari kompleks tahlil qilindi. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, diabet davomiyligi, glikemik nazorat darajasi (HbA1c), arterial gipertenziya va dislipidemiya diabetik retinopatiya rivojlanishining eng muhim mustaqil xavf omillari hisoblanadi.

Sun’iy intellekt algoritmi fundus fotografiyalari, OCT va OCTA tasvirlarini avtomatik tahlil qilish orqali mikroanevrizmlar, intraretinal qon quyilishlar, qattiq va yumshoq ekssudatlar, diabetik makulyar shish hamda retinal neovaskulyarizatsiyani yuqori aniqlik bilan aniqladi.

AI algoritmi tomonidan olingan natijalar tajribali oftalmologlarning yakuniy tashxisi bilan solishtirilganda juda yuqori moslik kuzatildi.

Jadval 3.

Diabetik retinopatiya rivojlanishining asosiy xavf omillari

Ko‘rsatkich	Retinopatiya mavjud (n=430)	Retinopatiya yo‘q (n=118)	p
Yosh (yil)	58,4 $\pm$ 8,9	49,8 $\pm$ 7,4	<0,001

Ko'rsatkich	Retinopatiya mavjud (n=430)	Retinopatiya yo'q (n=118)	p
Diabet davomiyligi (yil)	13,2 ± 5,6	5,8 ± 2,9	<0,001
HbA1c (%)	9,2 ± 1,3	7,1 ± 0,9	<0,001
Arterial gipertenziya	72,6 %	41,5 %	<0,001
Dislipidemiya	64,4 %	37,3 %	<0,001
BMI (kg/m ²)	30,1 ± 4,2	27,4 ± 3,6	0,002

Natijalardan ko'rinadiki, diabet davomiyligining 10 yildan ortiq bo'lishi va HbA1c darajasining 8 % dan yuqoriligi retinopatiya rivojlanish xavfini sezilarli darajada oshirgan.

OCT va OCTA tekshiruvlari natijalari: Optik koherent tomografiya yordamida retinal qatlamlarning qalinligi va makula holati baholandi.

Diabetik retinopatiya mavjud bemorlarda quyidagi o'zgarishlar aniqlandi: markaziy retinal qalinlikning ortishi, foveal avaskulyar zona kengayishi, kapillyar perfuziyaning pasayishi, mikroanevrizmlar sonining ortishi, diabetik makulyar shishning rivojlanishi.

OCTA tekshiruvlari proliferativ retinopatiya rivojlanayotgan bemorlarda retinal mikrosirkulyatsiya buzilishlarini an'anaviy fundus tekshiruviga qaraganda ancha erta aniqlash imkonini berdi.

Jadval 4.

OCT va OCTA ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Sog'lom retina	DR mavjud	p
Markaziy retinal qalinlik (μm)	252 ± 14	331 ± 28	<0,001
FAZ maydoni (mm ²)	0,28 ± 0,05	0,47 ± 0,08	<0,001
Tomir zichligi (%)	48,3	37,8	<0,001
Makulyar shish	0 %	38,6 %	<0,001

Sun'iy intellekt algoritmining diagnostik samaradorligi



Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) asosida ishlab chiqilgan sun'iy intellekt modeli jami **5 842 ta fundus tasviri** va **1 964 ta OCT/OCTA tasviri** asosida o'qitildi va sinovdan o'tkazildi.

Model quyidagi patologiyalarni avtomatik aniqladi: mikroanevrizma, qon quyilish, yumshoq eksudat, qattiq eksudat, IRMA, neovaskulyarizatsiya, diabetik makulyar shish.

AI modeli tasvirni tahlil qilish uchun o'rtacha **3,1 soniya** vaqt sarfladi.

An'anaviy oftalmologik tekshiruv esa bir bemorga o'rtacha **8–12 daqiqa** vaqt talab qildi.

Jadval 5.

AI va an'anaviy diagnostika taqqoslanishi

Ko'rsatkich	AI modeli	Oftalmolog
Sezuvchanlik	97,8 %	91,5 %
Spetsifiklik	96,9 %	93,1 %
Diagnostik aniqlik	97,3 %	92,4 %
Tahlil vaqti	3,1 soniya	9,4 daqiqa
Xato tashxis	2,7 %	7,6 %

Sun'iy intellekt algoritmi diagnostik aniqlik, sezuvchanlik va tezkorlik bo'yicha an'anaviy tekshiruvdan ustun ekanligi aniqlandi.

ROC tahlili

ROC-egri chiziq tahliliga ko'ra AI modelining **AUC (Area Under Curve)** ko'rsatkichi **0,986** ni tashkil etdi.

Bu juda yuqori diagnostik qiymat hisoblanadi.

Eng yuqori prognostik omillar: HbA1c >8,5 %, diabet davomiyligi >10 yil, arterial gipertenziya, OCT bo'yicha retinal qalinlik >320 μ m, FAZ kengayishi, retinal tomir zichligining kamayishi. Mazkur omillar asosida ishlab chiqilgan sun'iy intellekt modeli bemorning keyingi 3 yil ichida proliferativ diabetik retinopatiya rivojlanish xavfini yuqori aniqlik bilan prognoz qila oldi.

Klinik kuzatuv natijalari: 12 oylik kuzatuv davomida sun'iy intellekt tavsiyalariga asoslangan monitoring guruhi bilan standart kuzatuv guruhi natijalari taqqoslandi.

AI yordamida kuzatilgan bemorlarda: diabetik makulyar shish **31 %** kam kuzatildi, proliferativ retinopatiya rivojlanishi **28 %** ga kamaydi, lazer fotokoagulyatsiyasiga ehtiyoj **24 %** ga qisqardi, anti-VEGF in'eksiyalari soni **19 %** ga kamaydi, ko'rish o'tkirligini saqlab qolish darajasi **94,6 %** ni tashkil etdi.

Mazkur natijalar sun'iy intellekt asosidagi skrining va monitoring tizimlarining klinik amaliyotdagi samaradorligini tasdiqlaydi hamda ularni birlamchi va ixtisoslashtirilgan oftalmologik yordam tizimiga joriy etish maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi.

Muhokama

Mazkur tadqiqot natijalari qandli diabet retinopatiyasini erta aniqlash va rivojlanish xavfini prognozlashda sun'iy intellekt texnologiyalarining yuqori klinik samaradorligini tasdiqladi. Olingan natijalar xalqaro ilmiy tadqiqotlar bilan mos kelib, AI asosidagi skrining tizimlarining an'anaviy oftalmologik tekshiruvlarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega ekanligini ko'rsatdi.

Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan CNN (Convolutional Neural Network) modeli fundus fotografiyasi, OCT va OCTA tasvirlarini kompleks tahlil qilish orqali mikroanevrizmlar, retinal qon quyilishlar, qattiq va yumshoq eksudatlar, diabetik makulyar shish hamda proliferativ retinopatiya belgilarini yuqori aniqlik bilan aniqladi. Modelning 97,3 % umumiy diagnostik aniqlikka erishgani ushbu texnologiyaning klinik amaliyot uchun ishonchli ekanligini ko'rsatadi.

Olingan natijalar AQSh, Buyuk Britaniya, Yaponiya va Janubiy Koreyada o'tkazilgan zamonaviy tadqiqotlar bilan uyg'unlik kasb etdi. Xususan, DeepMind, EyeArt va IDx-DR tizimlari bo'yicha e'lon qilingan ilmiy ishlarda diagnostik aniqlik 94–97 % oralig'ida qayd etilgan bo'lsa, mazkur tadqiqotda bu ko'rsatkich 97,3 % ni tashkil etdi. Bu esa ko'p modal ma'lumotlar (fundus tasvirlari, OCT va OCTA) birgalikda tahlil qilinganda diagnostik samaradorlik oshishini ko'rsatadi.

Shuningdek, diabet davomiyligi, HbA1c darajasi, arterial gipertenziya va dislipidemiya diabetik retinopatiya rivojlanishining eng muhim xavf omillari ekanligi aniqlandi. Ayniqsa, HbA1c ko'rsatkichi 8,5 % dan yuqori bo'lgan bemorlarda proliferativ retinopatiya rivojlanish ehtimoli sezilarli darajada yuqori bo'ldi. Bu natijalar glyukemik nazoratning ko'rish organini asrashdagi muhim o'rnini yana bir bor tasdiqlaydi.

OCT va OCTA tekshiruvlari retinal kapillyar perfuziyaning pasayishi, foveal avaskulyar zonaning kengayishi va markaziy retinal qalinlikning ortishini klinik

simptomlar paydo bo'lishidan oldin aniqlash imkonini berdi. Ushbu o'zgarishlarning AI algoritmi tomonidan avtomatik baholanishi kasallikni subklinik bosqichlarda aniqlash va davolashni o'z vaqtida boshlash uchun muhim ahamiyatga ega.

12 oylik klinik kuzatuv natijalari AI asosidagi monitoring tizimining amaliy samaradorligini ham ko'rsatdi. Sun'iy intellekt tavsiyalariga asoslangan kuzatuv olib borilgan bemorlarda proliferativ retinopatiya rivojlanishi, diabetik makulyar shish va invaziv davolash usullariga ehtiyoj sezilarli darajada kamaydi. Bu esa nafaqat bemorlarning ko'rish qobiliyatini saqlab qolishga, balki sog'liqni saqlash tizimi xarajatlarini kamaytirishga ham xizmat qiladi.

Shu bilan birga, tadqiqot ayrim cheklovlarga ega. Tadqiqot uchta klinik markazda o'tkazilgani sababli natijalarni barcha hududlarga umumlashtirishda ehtiyotkorlik talab etiladi. Bundan tashqari, algoritmning turli etnik guruhlar va turli rusumdagi fundus kameralarida ishlash samaradorligini baholash uchun kengroq ko'p markazli xalqaro tadqiqotlar o'tkazish maqsadga muvofiq.

Kelgusida sun'iy intellekt algoritmlarini elektron tibbiy karta tizimlari, teleoftalmologiya platformalari va mobil skrining komplekslari bilan integratsiya qilish orqali diabetik retinopatiyani ommaviy skrining qilish imkoniyatlari yanada kengayadi. Bu esa ayniqsa chekka hududlarda yashovchi bemorlarni erta aniqlash va o'z vaqtida davolashga xizmat qiladi.

Mazkur tadqiqot natijalari O'zbekiston sharoitida diabetik retinopatiyani sun'iy intellekt asosida skrining qilish tizimini joriy etish ilmiy va amaliy jihatdan maqsadga muvofiqligini ko'rsatdi. Ishlab chiqilgan algoritm oftalmologik amaliyotda diagnostik aniqlikni oshirish, inson omilini kamaytirish va ko'rlikning oldini olish bo'yicha samarali vosita bo'lishi mumkin.

Ilmiy yangilik: Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat: O'zbekiston sharoitida diabetik retinopatiyani sun'iy intellekt asosida ko'p modal (fundus + OCT + OCTA) tahlil qilish modeli ishlab chiqildi. Diabetik retinopatiya rivojlanish xavfini baholovchi individual prognostik algoritm taklif etildi. Sun'iy intellekt yordamida proliferativ retinopatiya rivojlanishini erta prognozlash imkoniyatlari statistik jihatdan asoslandi. AI skrining tizimining klinik va iqtisodiy samaradorligi baholandi. Birlamchi tibbiy bo'g'in uchun yangi skrining algoritmi ishlab chiqildi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati: Tadqiqot natijalari asosida ishlab chiqilgan AI skrining algoritmi quyidagi yo‘nalishlarda qo‘llanilishi mumkin: Respublika endokrinologiya va oftalmologiya markazlarida, oilaviy poliklinikalarda diabet skrining dasturlarini tashkil etishda, telemeditsina xizmatlarini rivojlantirishda, tibbiyot oliy ta‘lim muassasalarida o‘quv jarayonida, sun‘iy intellekt asosidagi milliy oftalmologik platformalarni yaratishda. Mazkur algoritmnin amaliyotga joriy etish diabetik retinopatiyani erta aniqlash ko‘rsatkichlarini oshirish, ko‘rlikning oldini olish va bemorlarning hayot sifatini yaxshilashga xizmat qiladi.

Xulosa

Olib borilgan tadqiqot natijalari qandli diabet retinopatiyasini erta aniqlash va kasallik rivojlanishini prognozlashda sun‘iy intellekt texnologiyalarining yuqori klinik samaradorligini tasdiqladi. Fundus fotografiyasi, OCT va OCTA tasvirlarini chuqur o‘rganish algoritmlari yordamida kompleks tahlil qilish diabetik retinopatiyaning dastlabki morfologik belgilarini an‘anaviy oftalmologik tekshiruvlarga nisbatan ancha yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini berdi.

548 nafar bemor ishtirokida o‘tkazilgan ko‘p markazli klinik tadqiqot sun‘iy intellekt algoritmining diagnostik sezuvchanligi **97,8 %**, spetsifikligi **96,9 %** va umumiy diagnostik aniqligi **97,3 %** ni tashkil etganini ko‘rsatdi. Bu ko‘rsatkichlar AI asosidagi skrining tizimlarini amaliy sog‘liqni saqlash tizimiga joriy etish maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, diabet davomiyligi 10 yildan ortiq bo‘lishi, HbA1c darajasining 8,5 % dan yuqori bo‘lishi, arterial gipertenziya va dislipidemiya diabetik retinopatiya rivojlanishining asosiy mustaqil xavf omillari hisoblanadi. Ushbu omillarni sun‘iy intellekt algoritmlariga integratsiya qilish bemorlar uchun individual xavf prognozini tuzish imkonini yaratdi.

OCT va OCTA tekshiruvlarining AI bilan integratsiyalashuvi retinal mikrovaskulyar o‘zgarishlarni klinik simptomlar paydo bo‘lishidan oldin aniqlash imkonini berdi. Bu esa davolashni erta boshlash, proliferativ retinopatiya va diabetik makulyar shish rivojlanishining oldini olishda muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqot asosida ishlab chiqilgan yangi skrining algoritmi birlamchi tibbiy bo‘g‘in, ixtisoslashtirilgan oftalmologiya markazlari hamda telemeditsina tizimida qo‘llanilishi mumkin. Mazkur algoritm yordamida bemorlarni avtomatlashtirilgan saralash, yuqori xavf guruhlarini aniqlash va individual monitoringni tashkil etish imkoniyati yaratiladi.

Kelgusida sun'iy intellekt asosidagi oftalmologik skrining platformalarini milliy elektron sog'liqni saqlash tizimlari bilan integratsiya qilish, mobil diagnostik komplekslar yaratish hamda teleoftalmologiya xizmatlarini kengaytirish diabetik retinopatiya tufayli yuzaga keladigan nogironlik va ko'rlikni sezilarli darajada kamaytirishga xizmat qiladi.

Mazkur tadqiqot natijalari sun'iy intellekt texnologiyalarining diabetik retinopatiyani erta diagnostika qilishdagi istiqbolli yo'nalish ekanligini ko'rsatadi hamda ushbu texnologiyalarni klinik amaliyotga keng joriy etish bo'yicha ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Sun JK, Aiello LP. Diabetic Retinopathy: Pathophysiology and Clinical Management. *JAMA*. 2021;326(16):1603–1604. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2021.16460>
2. Wong TY, Cheung CMG, Larsen M, Sharma S, Simó R. Diabetic Retinopathy. *Nature Reviews Disease Primers*. 2023;9:32. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41572-023-00428-8>
3. American Diabetes Association. Standards of Care in Diabetes—2025. *Diabetes Care*. 2025. <https://diabetesjournals.org/care>
4. International Diabetes Federation. *IDF Diabetes Atlas*. 11th Edition, 2025. <https://diabetesatlas.org>
5. World Health Organization. *Global Diabetes Report*. <https://www.who.int>
6. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. *Ophthalmology*. <https://www.aaojournal.org>
7. Abràmoff MD, Lavin PT, Birch M, Shah N, Folk JC. Pivotal Trial of an Autonomous AI-Based Diagnostic System for Diabetic Retinopathy. *NPJ Digital Medicine*. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0040-6>
8. Ting DSW, Pasquale LR, Peng L, et al. Artificial Intelligence and Deep Learning in Ophthalmology. *British Journal of Ophthalmology*. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-313173>
9. Gulshan V, Peng L, Coram M, et al. Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy. *JAMA*. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>

10. Li Z, Keel S, Liu C, et al. AI for Diabetic Retinopathy Screening. *The Lancet Digital Health*. <https://www.thelancet.com/journals/landig>
11. He F, Xia X, Wu XF, Yu XQ, Huang FX. Diabetic Retinopathy in China. *Medicine*. DOI: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000013295>
12. Silva PS, Cavallerano JD, Sun JK, Soliman AZ, Aiello LM, Aiello LP. Nonmydriatic Ultrawide Field Retinal Imaging. *Ophthalmology*. <https://www.aaojournal.org>
13. American Academy of Ophthalmology. Preferred Practice Pattern: Diabetic Retinopathy. <https://www.aao.org>
14. European Society of Retina Specialists (EURETINA). Clinical Guidelines. <https://www.euretina.org>
15. National Eye Institute. Diabetic Eye Disease. <https://www.nei.nih.gov>
16. National Institute for Health and Care Excellence (NICE). Diabetic Retinopathy Guidelines. <https://www.nice.org.uk>
17. Royal College of Ophthalmologists. Diabetic Retinopathy Guidelines. <https://www.rcophth.ac.uk>
18. International Council of Ophthalmology. ICO Guidelines for Diabetic Eye Care. <https://icoph.org>
19. American Society of Retina Specialists. Clinical Recommendations. <https://www.asrs.org>
20. Ferris FL, Davis MD, Aiello LM. Treatment of Diabetic Retinopathy. *New England Journal of Medicine*. <https://www.nejm.org>
21. Cheung N, Mitchell P, Wong TY. Diabetic Retinopathy. *The Lancet*. <https://www.thelancet.com>
22. Simó R, Hernández C. Neurodegeneration in Diabetic Retinopathy. *Progress in Retinal and Eye Research*. <https://www.sciencedirect.com/journal/progress-in-retinal-and-eye-research>
23. Schmidt-Erfurth U, et al. Artificial Intelligence in Retina. *Progress in Retinal and Eye Research*. <https://www.sciencedirect.com/journal/progress-in-retinal-and-eye-research>
24. European Association for the Study of Diabetes (EASD). Clinical Recommendations. <https://www.easd.org>
25. International Agency for the Prevention of Blindness. <https://www.iapb.org>

