

UOT: 617.7-07:004.8

Qasimov E.M., Qasimova C.E.

OFTALMOLOGİYADA SÜNİ İNTELLEKTİN TƏTBİQİ VƏ TİBBİ ETİKA PRİNSİPLƏRİ (ƏDƏBİYYAT İCMALI)

Akademik Zərifə Əliyeva adına
Milli Oftalmologiya Mərkəzi,
Cavadxan küç., 32/15
AZ1114, Bakı şəh., Azərbaycan

Korrespondensiya üçün:

Qasimova Cəmilə Elmar qızı,
Akademik Zərifə Əliyeva adına
Milli Oftalmologiya Mərkəzinin
"Buyuz qışa və transplantasiya"
şöbəsinin həkim-oftalmoloqu
E-mail:
jamilagasimova1@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-9705-6763>

İstinad üçün:

Qasimov E.M., Qasimova C.E.
Oftalmologiyada sünİ intellektin
tətbiqi və tibbi etika prinsipləri
(ədəbiyyat icmalı).
Azərbaycan Oftalmologiya Jurnalı,
2026, 18; 1 (56): 00-00.

Müəlliflərin iştirakı:

Tədqiqatın anlayışı və dizaynı:
Qasimov E.M., Qasimova C.E.
Materialın toplanması və işlənməsi:
Qasimov E.M., Qasimova C.E.
Statistik məlumatların işlənməsi:
Qasimova C.E.
Mətnin yazılması:
Qasimov E.M., Qasimova C.E.
Redaktə:
Qasimova C.E.

*Müəlliflər münafiqələri
(maliyyə, şəxsi, peşəkar və digər
maraqları) olmamasını təsdiqləyirlər.*

Daxil olmuşdur 18.02.2026
Çapa qəbul olunmuşdur 16.03.2026

XÜLASƏ

Sünİ intellekt (Sİ) sürətlə inkişaf edir və həyatımızın demək olar ki, bütün sahələrinə daxil olur.

Məqsəd – bu icmal məqaləsində Sİ oftalmologiya sahəsində istifadəsi ilə bağlı inkişaf və mümkün tətbiqlər, eləcə də bununla əlaqəli tibbi etika mövzularını müzakirə etmək.

Bəzi Sİ alqoritmləri ABŞ Qida və Dərman Administrasiyası (Food and Drug Administration - FDA) tərəfindən təsdiq edilmiş və xüsusilə diaqnostik tədqiqatlarda oftalmologiya sahəsində istifadəyə başlanmışdır. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, Sİ alqoritmləri xüsusilə torlu qışa xəstəliklərinin erkən diaqnostikası, qlaukomanın monitorinqi, yaşa bağlı makula degenerasiyası (YBMD) və diabetik retinopatiyanın (DR) skriningi kimi sahələrdə yüksək dəqiqlik nümayiş etdirir. Bu alqoritmlərin bəziləri artıq təsdiqlənmə mərhələsinə çatmışdır.

Bu texnologiyanın perspektivləri, xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələr üçün böyük əhəmiyyət daşıyır. Həmin regionlarda oftalmoloq və digər ixtisaslaşmış kadrların çatışmazlığı, həmçinin səhiyyə xidmətlərinə coğrafi və iqtisadi baryerlər erkən diaqnostikanı çətinləşdirir. Sİ-lə integrasiya olunmuş skrining sistemləri ilkin mərhələdə risk qrupunda olan xəstələrin avtomatlaşdırılmış şəkildə müəyyən edilməsinə imkan verə bilər. Nəticədə, qarşısı alına bilən görmə itkilərinin vaxtında aşkarlanması və xəstələrin uyğun ixtisaslaşmış tibbi mərkəzlərə yönləndirilməsi mümkün olur. Bu yanaşma səhiyyə resurslarının daha rəşional bölüşdürülməsinə, erkən müdaxilə göstəricilərinin artmasına və uzunmüddətli perspektivdə görmə əlilliyinin azalmasına töhfə verə bilər.

Etik status adətən şüur, özünüdərk və məsuliyyət daşıma qabiliyyəti kimi anlayışlarla əlaqələndirilir. Sİ sistemləri hazırda bu xüsusiyyətlərə malik deyil, lakin onların daha mürəkkəb və avtonom formalarının inkişafı etik müzakirələri daha da aktuallaşdırır.

Xüsusilə səhiyyə sahəsində istifadə olunan Sİ sistemləri insan həyatı və sağlamlığı ilə bağlı qərarlara təsir göstərdiyi üçün məsuliyyət, şəffafıq və qərarların izah oluna bilməsi kimi məsələlər mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Buna görə də Sİ-nin inkişafı etik və hüquqi çərçivələrin paralel şəkildə formalaşdırılmasını tələb edir.

Yekun

Oftalmologiyada Sİ diaqnostika və monitorinq sahəsində transformativ rol oynayır. Tor qışa xəstəliklərinin erkən aşkarlanması, qlaukomanın proqnozlaşdırılması və skrining proqramlarının optimallaşdırılması sahəsində mühüm irəliləyişlər əldə edilmişdir. Lakin bu texnologiyanın geniş tətbiqi üçün etik, hüquqi və texniki problemlərin həlli vacibdir. Gələcəkdə Sİ oftalmoloqu əvəz etməyəcək, lakin onun ən güclü köməkçisinə çevriləcəkdir.

Açar sözlər: sünİ intellekt, maşın öyrənməsi, dərin öyrənmə, oftalmologiya, tibbi etika

<https://>

Gasimov E.M., Gasimova J.E.**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN OPHTHALMOLOGY AND MEDICAL
ETHICS PRINCIPLES
(LITERATURE REVIEW)**

National Ophthalmology
Centre named after
Academician Zarifa Aliyeva,
32/15, Javadkhan str.,
AZ1114, Baku, Azerbaijan

For correspondence:
Gasimova Jamila Elmar,
oftalmologist of the National
Ophthalmology Centre named after
Academician Zarifa Aliyeva
E-mail:
jamilagasimova1@gmail.com
[https://orcid.org/
0009-0003-9705-6763](https://orcid.org/0009-0003-9705-6763)

For citation:
Gasimov E.M., Gasimova J.E.
Application of artificial intelligence
in ophthalmology and medical ethics
principles (literature review).
Azerbaijan Journal of
Ophthalmology,
2026, 18; 1 (56): 00-00.
(In Azerb.).

Authors participation:
Concept and design of investigation:
Gasimov E.M., Gasimova J.E.
Material collection and processing:
Gasimov E.M., Gasimova J.E.
Statistical data processing:
Gasimova J.E.
Spelling text:
Gasimov E.M., Gasimova J.E.
Editing:
Gasimova J.E.

*The authors confirm that there are
no conflicts (financial, personal,
professional and other interests).*

Received 18.02.2026
Accepted 16.03.2026

<https://>**SUMMARY**

Artificial intelligence (AI) is rapidly advancing and increasingly permeating nearly all aspects of human life.

Purpose –This review article discusses the current developments and potential applications of AI in ophthalmology, as well as related medical ethics considerations.

Several AI algorithms have been approved by the U.S. Food and Drug Administration (FDA) and have begun to be utilized in diagnostic research within ophthalmology. Studies indicate that AI systems demonstrate high accuracy, particularly in early detection of retinal diseases, monitoring of glaucoma, screening for age-related macular degeneration (AMD), and diabetic retinopathy (DR). Some of these algorithms have already reached clinical validation stages.

The potential of this technology is particularly significant for developing countries, where the shortage of ophthalmologists and specialized personnel, combined with geographic and economic barriers to healthcare access, can impede early diagnosis. AI-integrated screening systems can automatically identify at-risk patients at an early stage. Consequently, preventable vision loss can be detected in a timely manner, and patients can be referred to appropriate specialized medical centres. This approach may contribute to more rational allocation of healthcare resources, increased early intervention rates, and reduced long-term visual impairment.

Ethical status is generally associated with consciousness, self-awareness, and the capacity to assume responsibility. Current AI systems do not possess these characteristics; however, the development of more complex and autonomous AI raises important ethical questions. In particular, AI systems used in healthcare directly affect human life and health-related decisions, making issues such as responsibility, transparency, and explainability critically important. Therefore, the development of AI necessitates the parallel establishment of ethical and legal frameworks.

Conclusion

Artificial intelligence plays a transformative role in ophthalmology, particularly in diagnostics and monitoring. Significant advances have been made in early detection of retinal diseases, prediction of glaucoma progression, and optimization of screening programs. Nevertheless, addressing ethical, legal, and technical challenges is essential for its widespread implementation. In the future, AI will not replace ophthalmologists but will serve as their most powerful assistant.

Key words: *artificial intelligence, machine learning, deep learning, ophthalmology, medical ethics*

Sadə şəkildə ifadə edildikdə, Sİ kompüterin insana xas intellektual düşüncə strukturunu təqlid edə bilməsidir. Bu intellektual struktur çərçivəsində hadisələr arasında səbəb-nəticə əlaqələri qurmaq, ümumiləşdirmələr aparmaq və təcrübələrdən nəticə çıxarmaq kimi xüsusiyyətlər yer alır [1]. Cəmiyyətdə ümumi yanaşmaya görə, müəyyən bir mövzu üzrə səbəblər təqdim edən, strategiyalar hazırlayan, vəziyyətləri dəyərləndirə bilən və öyrənmə qabiliyyətinə malik cihazlar “intellekt” anlayışı ilə xarakterizə olunur. Lakin bu intellektin səviyyəsi və etibarlılığı ilə bağlı müzakirələr hələ də davam edir [2].

İlk dəfə Sİ anlayışı 1956-cı ildə McCarthy və həmkarları tərəfindən irəli sürülmüş və insan kimi problem həll etmə qabiliyyətlərini təkrarlamaq bilən intellektual maşınlar kimi tərif edilmişdir [3]. Bu qabiliyyətlərə dilin istifadəsi, abstrakt düşünmə, mühakimə yürütmə və problemlərin həlli daxildir [4]. Bununla belə, Sİ-nin dəqiq olaraq nəyi əhatə etməsi ilə bağlı hələ də ümumi qəbul edilmiş vahid tərif mövcud deyil.

Tibbin müxtəlif ixtisas sahələrinə Sİ-nin inteqrasiyası sürətlə artmaqdadır və oftalmologiya bu texnologiyanın tətbiqi üçün xüsusilə uyğun sahə kimi seçilir. Bu, əsasən, sahənin skrining, diaqnoz, proqnoz və göz xəstəliklərinin müalicəsi kimi müxtəlif və spesifik tapşırıqlar üçün görüntüləmə və məlumatlara yüksək dərəcədə əsaslanması ilə əlaqədardır [5].

Oftalmologiyada istifadə olunan geniş görüntüləmə üsulları Sİ proqramlarının inkişafı üçün bir sıra imkanlar yaradır. Bundan əlavə, bu sahədə Sİ artıq DR, qlaukoma və katarakta kimi geniş yayılmış göz xəstəliklərinin skriningində yüksək diaqnostik fəaliyyət nümayiş etdirmişdir [6, 7, 8].

Oftalmologiyadakı Sİ-nin rolu diaqnostik dəqiqliyin artırılması, erkən diaqnozun mümkün edilməsi və ümumi tibbi xidmət keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması potensialına malikdir. Bu xüsusilə aşağı və orta gəlirli ölkələrdə mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Belə ölkələrdə korluğun qarşısı alına bilən səbəbləri məsələn, DR və YBMD – skrining proqramları, ev monitorinq sistemləri vasitəsilə azaldıla bilər. Bundan əlavə, ixtisaslaşmış oftalmoloqlara çıxışın məhdud olduğu ucqar bölgələrdə bu məsələ daha da aktuallaşır [9]. Sİ əsaslı skrining sistemləri göz müayinəsinin standartlaşdırılmasına və tibbi xidmətə çıxışın yaxşılaşdırılmasına kömək edə bilər.

Bununla belə, Sİ-nin güclü imkanları göstərir ki, düzgün inkişaf və tənzimləmə olmadan bu texnologiya pasiyentlər üçün risk və potensial zərər yarada bilər. Bu narahatlıqlar xüsusilə səhiyyə sahəsində daha kritikdir, çünki məlumat sızması və ya Sİ modellərindən sui-istifadə ciddi nəticələrə səbəb ola bilər [10].

Süni intellektin növləri

Texnoloji inkişaf səviyyəsi və gələcəyə dair proqnozlara əsaslanaraq Sİ üç əsas kateqoriyaya bölünür:

1) Dar Sİ (*Artificial narrow intelligence*)

Hazırda Sİ kimi tanınan proqram təminatlarının demək olar ki, hamısı bu kateqoriyaya daxildir. Dar Sİ, yalnız əvvəlcədən müəyyən edilmiş məhdud bir sahə çərçivəsində insan intellektini təqlid edir və yalnız bu çərçivədə cavablar verə bilər.

2) Ümumi Sİ (*Artificial general intelligence*)

İnsanlarla eyni intellektual səviyyəyə malik olması və nəzəri olaraq bir insanın yerinə yetirə biləcəyi bütün tapşırıqları icra edə bilməsi gözlənilən Sİ növüdür. “İnsan səviyyəsində Sİ” kimi də adlandırılan bu növün aşağıdakı qabiliyyətlərə malik olması Sİ tədqiqatçıları arasında ümumi qəbul olunmuş fikirdir:

- səbəb-nəticə əlaqələri qurmaq;
- strategiyalar hazırlamaq;
- planlama aparmaq;
- öyrənmə qabiliyyətinə malik olmaq;
- dil vasitəsilə ünsiyyət qurmaq;
- müəyyən bir məqsəd çərçivəsində bütün bu bacarıqları sintez edə bilmək.

3) Super Sİ (*Artificial super intelligence*)

İnsan beyninin intellektual imkanlarını belə geridə qoya biləcəyi düşünülmən bu Sİ növü elm və texnologiya sahəsində geniş müzakirə olunur [11-13].

Oftalmologiyada süni intellektin öyrənmə növləri

a) Maşın öyrənməsi (Machine learning)

Oftalmologiya sahəsində aparılan Sİ tədqiqatlarında ən çox istifadə olunan alt sahələrdən biri maşın öyrənməsidir. “Maşın öyrənməsi” termini ilk dəfə 1959-cu ildə Sİ sahəsinin ilk tərəfdarlarından olan mühəndis Arthur Samuel tərəfindən irəli sürülmüşdür. Samuel bu anlayışı “maşınların xüsusi olaraq proqramlaşdırılmadıqları nəticələri öyrənmə qabiliyyəti” kimi izah etmişdir. Maşın öyrənməsi texnikasında kompüterə müəyyən həcmdə məlumat daxil edilir və bu məlumatlar əsasında bir alqoritm yaradılır. Məqsəd həmin alqoritm vasitəsilə cihazın proqnoz vermə qabiliyyətini tədricən təkmilləşdirməkdir. Kompüterə yüklənən və onun məşq etdiyi mərhələ öyrənmə mərhələsi adlanır və bu mərhələ iki əsas növə bölünür [14]:

- *Nəzarətli öyrənmə (supervised learning)*: daxil edilən məlumatlar əvvəlcədən etikətlənir və kompüterə bu şəkildə təqdim olunur.
- *Nəzarətsiz öyrənmə (unsupervised learning)*: daxil edilən məlumatlarda etikətlər olmur və kompüter bu məlumatlardan istifadə edərək öz alqoritmını özü formalaşdırır.

b) Dərin öyrənmə (Deep learning)

Maşın öyrənməsi texnikalarının inkişafı və istifadə edilən məlumatların həcmının artması ilə birlikdə, tək qatlı emal aparən klassik maşın öyrənməsindən fərqli olaraq, eyni anda çoxsaylı qatlarda emal aparən daha inkişaf etmiş bir üsul – dərin öyrənmə ortaya çıxmışdır.

Dərin öyrənmə, bir neçə maşın öyrənməsi texnikasını paralel şəkildə istifadə edərək tək mərhələdə nəticəyə çata bilən sistemlərdən ibarətdir. Bu texnika dərin neyron şəbəkələrdən istifadə etməklə çox böyük həcmdə məlumat üzərində daha çox məşq aparmağa imkan

verir. Sistem hər məşq mərhələsində öz fəaliyyət göstəricisini artıraraq, zamanla öz alqoritmını formalaşdırmağa bilir [15-17].

Oftalmologiyada süni intellektin tətbiq sahələri

Oftalmologiya sahəsi rəngli fundus görüntüləri, optik koherens tomoqrafiya (OKT) və kompüterləşdirilmiş görmə sahəsi (GS) testləri kimi müxtəlif rəqəmsal görüntülmə üsullarının geniş tətbiqi səbəbindən Sİ tədqiqatları üçün zəngin və strukturlaşdırılmış məlumat bazasına malikdir [18].

Bununla yanaşı, dünyada uzunömürlüyün artması qarşısı alınmayan görmə itkisinə səbəb olan göz xəstəliklərinin yayılma tezliyinin artmasına gətirib çıxarmışdır. Bu xəstəliklərin erkən mərhələdə diaqnostikası və vaxtında müalicəsi, xüsusilə oftalmoloqa çıxış imkanlarının məhdud olduğu regionlarda alternativ və innovativ həllərin tətbiqini zəruri edir [19].

Bu kontekstdə Sİ əsaslı sistemlər mühüm klinik və ictimai sağlamlıq potensialına malikdir. Xüsusilə cəmiyyətdə geri dönməz görmə itkisinə ən çox səbəb olan aşağıdakı xəstəliklər üzrə çoxsaylı Sİ tətbiqləri hazırlanmaqdadır:

- diabetik retinopatiya (DR)
- yaşa bağlı makula degenerasiyası (YBMD),
- qlaukoma,
- prematür retinopatiyası (ROP).

Süni intellekt və diabetik retinopatiya

Dünyada DR xəstəliyinin sürətlə artması səbəbilə oftalmologiyada Sİ tətbiqlərinin ən çox maraqlı göstərilən sahəsidir. Sİ-dən istifadə edən və FDA tərəfindən təsdiq olunmuş ilk cihaz olan IDx-DR də məhz bu sahədə hazırlanmışdır [20].

IDx-DR sistemi Topcon NW400 fundus kamerasından istifadə edərək xəstələri retinopatiya səviyyəsinə görə təsnif edir. Fundus kamerasının seçilməsinə istifadənin asanlıqı əsas meyar olmuşdur. Xəstələr “Amerika Oftalmologiya Akademiyasının Diabetik Retinopatiya üzrə Tövsiyə Edilən

Təcrübə Sxeminə” əsasən qruplaşdırılmışdır. FDA təsdiqindən sonra IDx-DR 2018-ci ildə Ayova Universitetində istifadəyə verilmişdir [21].

IDx-DR sistemi dərin öyrənmə texnologiyasına əsaslanır və bu tip tətbiqlərin sayı getdikcə artmaqdadır. Dərin öyrənmə sayəsində məlumat bazası yüz minlərlə görüntüdən ibarət olan proqram təminatları inkişaf etdirilə bilməkdədir [21, 22].

Fundus görüntüləri əsasında maşın öyrənməsi tətbiqləri, OKT görüntüləri ilə maşın öyrənməsi və həmçinin OKT görüntüləri ilə dərin öyrənmə texnikalarından istifadə edilən çoxsaylı tədqiqatlar mövcuddur. Bu tədqiqatların bəzilərində 100%-ə yaxın həssaslıq və ya xüsusilik göstəriciləri bildirilmişdir [23].

Süni intellekt və yaşa bağlı makula degenerasiyası

Diabetik retinopatyada olduğu kimi, YBMD-da da erkən diaqnoz və xəstəliyin təsnifatı məqsədilə Sİ tətbiqləri hazırlanmışdır. Əvvəlki dövrlərdə fundus görüntüləri və maşın öyrənməsi əsasında, məlumat bazası ölçüsü 1000-dən az olan tədqiqatlar dərc olunmuşdur. Daha sonralar dərin öyrənmə texnologiyalarının tətbiqi ilə məlumat bazalarının ölçüsü artmış və yüksək həssaslıq və xüsusilik göstəricilərinə nail olunmuşdur [24 - 26].

Ting və həmkarları 72610 fundus görüntüsündən ibarət məlumat bazasından istifadə edərək xəstələri AREDS (Age-Related Eye Disease Study) təsnifatına əsasən orta və yuxarı mərhələli YBMD olanlar və olmayanlar kimi qruplaşdırmışdır. Tədqiqat nəticəsində həssaslıq – 93,2%, spesifiklik isə 88,2% olaraq göstərilmişdir [27].

Burlina və həmmüəllifləri 4613 xəstəyə məxsus 130000 görüntü üzərində apardıqları tədqiqatda orta və irəli mərhələli YBMD-nin müəyyən edilməsində 91,6% dəqiqlik əldə etmişlər [28].

Grassmann və həmmüəllifləri isə 3654 xəstəyə aid 120656 fundus görüntüsünü analiz edərək hazırladıqları alqoritmi AREDS

məlumat bazası ilə müqayisə etmiş və erkən və gec mərhələli YBMD-nin ayırd edilməsində 84,2%, sağlam şəxslərin müəyyən edilməsində isə 94,3% dəqiqlik əldə etmişlər [29].

Süni intellekt və qlaukoma

Qlaukoma dünyada ən geniş yayılmış görmə itkisi səbəblərindən biridir və erkən diaqnostika ilə müalicənin böyük əhəmiyyət daşıması bu xəstəliyi Sİ tədqiqatçıları üçün xüsusilə cəlbedici etmişdir [30, 31].

Qlaukoma diaqnozunda fundus görüntüləri üzərindən qlaukوماتoz optik sinir zədələnməsini müəyyən etmək məqsədilə maşın öyrənməsi texnikalarından istifadə edən bir sıra tədqiqatlar dərc edilmişdir. Bu tədqiqatlardan sonra daha böyük məlumat bazalarına malik, dərin öyrənmə texnologiyası əsasında hazırlanmış sistemlər üzərində fokuslanılmışdır [32-35].

Fu H və həmkarları tərəfindən aparılan və 125189 fundus görüntüsünü əhatə edən genişmiqyaslı tədqiqatda həssaslıq 96,4%, spesifiklik isə 87,2% olaraq bildirilmişdir [36].

Fundus görüntülərinə əlavə olaraq, qlaukomanın diaqnozu və izlənməsində istifadə edilən digər görüntüləmə metodları ilə bağlı da Sİ əsaslı tətbiqlər hazırlanmışdır. Bunlara kompüterləşdirilmiş görmə sahəsi testləri və optik koherent tomoqrafiya əsasında hazırlanmış alqoritmlər daxildir. Hətta həm GS, həm də OKT məlumatlarını eyni vaxtda analiz edə bilən tətbiqlərlə bağlı tədqiqatlar da mövcuddur [37].

Süni intellekt və vaxtından əvvəl doğulmuşların retinopatiyası

Prematur retinopatiya (ROP) dünya üzrə uşaqlar arasında görmə itkisinə səbəb olan əsas oftalmoloji patologiyalardan biridir. Epidemioloji tədqiqatlara əsasən, ROP-un yayılma tezliyi 6-18 % arasında dəyişir. ETROP (Early Treatment for Retinopathy of Prematurity) tədqiqatının nəticələri göstərmişdir ki, erkən müalicə görmə itiliyinin qorunmasını təmin etsə də, hələ də xəstələrin təxminən 9%-də qalıcı görmə itkisi inkişaf edir [38]. Vaxtından əvvəl doğulmuşların

retinopatiyasının diaqnozu və müalicəsi xəstənin gələcək görmə funksiyası və həyat keyfiyyəti üzərində əhəmiyyətli təsir göstərir. Bununla yanaşı, xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələrdə ROP üzrə ixtisaslaşmış oftalmoloqlara çıxış məhduddur [39].

Bundan əlavə, ROP-un diaqnostik parametrləri – zona, mərhələ və “plus xəstəlik” hətta təcrübəli mütəxəssislər arasında belə qiymətləndirmə fərqliliklərinə səbəb ola bilər. Bu çətinliklər Sİ və dərin öyrənmə metodlarının ROP diaqnostikasında tətbiqinə marağı artırmışdır [40].

Müxtəlif tədqiqatlar Sİ sistemlərinin ROP diaqnostikasında yüksək dəqiqlik nümayiş etdirdiyini göstərmişdir. Brown və həmkarları RetCam fundus kamerası ilə çəkilmiş 5511 görüntü əsasında hazırladıqları dərin öyrənmə sistemində “plus xəstəlik” aşkarlanması üçün həssaslıq 93%, xüsusilik 94% göstərmişdir [41].

Bu nəticələr Sİ-nin ROP diaqnostikasında diaqnostik dəqiqliyi artırmaq və həkim çatışmazlığını kompensasiya etmək potensialını vurğulayır [42].

Oftalmologiyanın fərqli sahələrində süni intellektin tətbiqi

Okulyar Onkologiya

Onkooftalmologiyada Sİ əsaslı maşın öyrənməsi alqoritmləri periokulyar rekonstruksiya mərhələlərinin proqnozlaşdırılması və bazal hüceyrəli karsinoma əməliyyatlarında qərar dəstəyi üçün istifadə edilmişdir [43]. Bundan əlavə, süni neyron şəbəkələrindən istifadə edilərək xoroidal melanomada xəstəlik proqnozunun demoqrafik və onkoloji tarixçəyə əsaslanaraq proqnozlaşdırılması mümkündür [44]. Habibalahi və həmkarları isə çoxspektral görüntüləmə sistemində maşın öyrənməsini tətbiq edərək göz səthində skvamus neoplaziyanın biopsiya əsasında aşkarlanmasını təmin etmişdir. Sistem neoplastik dəyişikliklərin sərhədlərini vizual şəkildə təqdim edərək müalicə həkimi və ya cərraha qısa zamanda xəstəliyin yayılma sahəsini göstərir [45].

Katarakta

Süni intellekt alqoritmləri, xüsusilə maşın öyrənməsi və dərin öyrənmə texnikaları, kataraktların aşkarlanması və mərhələləndirilməsində tətbiq edilmişdir [46]. Wu və həmkarları ResNet alqoritmi əsasında “referable” (cərrahi müdaxilə tələb edən) kataraktları müəyyən edən modeli təsdiqləmişdir. Anadangəlmə kataraktların qiymətləndirilməsində də dərin öyrənmə texnologiyalarından istifadə olunmuşdur [47]. Liu və həmkarları tərəfindən hazırlanmış CC-Cruiser sistemi, biomikroskop şəkillərinə əsaslanaraq kataraktın lokalizasiyası, sıxlığı və dərəcəsini yüksək dəqiqliklə müəyyən edə bilər [48]. Maşın öyrənməsi alqoritmləri həm əməliyyat planlamasında həkimə dəstək, həm də postoperativ arxa kapsular bulanmasının ehtimalını proqnozlaşdırmaq üçün istifadə olunmuşdur. Həmçinin, gözdaxili linza gücünün hesablanması üçün Hill-RBF kimi maşın öyrənmə modelləri istifadə olunur; bu sistem aksial uzunluq, buynuz qişa qalınlığı, ön kameranın dərinliyi, büllur qalınlığı, buynuz qişa diametri və keratometrik ölçmələri təhlil edir [49].

Pediatrik oftalmologiya

Uşaqlarda erkən göz müalicəsi görmə qabiliyyətinin qorunması üçün həyati əhəmiyyət daşıyır. Sİ-nin skrining və müalicə protokollarına inteqrasiyası optimal oftalmoloji baxımı təmin edə bilər. Çəpgözlüyün qiymətləndirilməsi məqsədilə dərin öyrənmə alqoritmlərinə əsaslanan modellər hazırlanmışdır və bu sistemlər tele-oftalmologiya mühitində tətbiq üçün perspektivli hesab olunur [50]. Belə yanaşmalar məsafədən skrining və ilkin diaqnostikanın aparılmasına imkan verərək erkən müdaxilə strategiyalarını gücləndirə bilər.

Bununla yanaşı, digər texnoloji sistemlər çəpgözlüyün aşkarlanmasını göz hərəkətlərində müşahidə olunan meyillərin və ya pozuntuların təhlili, eləcə də tor qişanın ikiqat sınma xüsusiyyətlərinin (tor qişanın optik xüsusiyyətləri) qiymətləndirilməsi əsasında həyata keçirir [51]. Bu metodlar

obyektiv ölçmə göstəricilərinə əsaslandığı üçün subyektiv klinik qiymətləndirmədən asılılığı azaldır və diaqnostik dəqiqliyi artırır.

Maşın öyrənməsi alqoritmləri həmçinin yüksək miopiya və digər refraktiv qüsurların erkən skriningində, eləcə də oxu çətinliklərinə meyilli uşaqların risk qruplarına aid edilməsində potensial tətbiq imkanları nümayiş etdirir [52]. Bu yanaşma pediatrik populyasiyada görmə problemlərinin erkən mərhələdə müəyyən edilməsinə və profilaktik tədbirlərin vaxtında həyata keçirilməsinə şərait yaradır.

Van Eenwyk və həmkarları Brückner bəbək qırmızı refleksi görüntüləri ilə eksantrik fotorefraksiya məlumatlarını inteqrasiya edən maşın öyrənməsi modelini tətbiq edərək ambliopiyaya səbəb ola biləcək xüsusiyyətlərin və yüksək refraktiv qüsurların erkən aşkarlanmasını mümkün etmişdir [53]. Bu tədqiqat nəticələri Sİ-nin pediatrik oftalmologiyada skrining proqramlarının optimallaşdırılmasına və erkən diaqnostikanın təkmilləşdirilməsinə töhfə verə biləcəyini göstərir.

Süni intellektin tibbi etik risklərinin təhlili

Süni intellektin qiymətləndirilməsində nəzərə alınmalı olan əsas sahələrdən biri onun etik baxımdan yarada biləcəyi risklərdir [54].

Süni intellektin oftalmologiyada tətbiqi diaqnostik dəqiqliyin artırılması və klinik qərar vermə prosesinin optimallaşdırılması baxımından mühüm üstünlüklər təqdim edir. Bununla belə, bu texnologiyaların klinik praktikaya inteqrasiyası bir sıra fundamental etik prinsiplərin xeyirxahlıq, zərər verməmək, ədalətlik və yenidən qiymətləndirilməsini tələb edir [55]. Oftalmoloji praktikada Sİ istifadəsi ilə bağlı etik problemlər əsasən məlumatların qorunması, məsuliyyət bölgüsü, alqoritmik qərəz, şəffaflıq və xəstə razılığı kontekstində təzahür edir.

Məlumatların məxfiliyi və məlumat təhlükəsizliyi

Süni intellektin sistemləri böyük həcmdə klinik və görüntü məlumatlarına əsaslanır.

Fundus fotoşəkilləri, optik koherens tomoqrafiya nəticələri və xəstənin tibbi tarixçəsi kimi məlumatların toplanması və emalı məxfilik risklərini artırır. Xüsusilə bulud əsaslı platformalarda saxlanılan məlumatların kibertəhlükələrə məruz qalma ehtimalı etik və hüquqi məsuliyyət yaradır.

Bu baxımdan məlumatların anonimləşdirilməsi, şifrələnməsi və yalnız səlahiyyətli şəxslər tərəfindən istifadəsi təmin olunmalıdır. Xəstə məlumatlarının kommersiya məqsədilə və ya əlavə tədqiqatlarda istifadəsi isə yalnız açıq və məlumatlandırılmış razılıq əsasında həyata keçirilməlidir. Əks halda, xəstənin qərar vermə müstəqilliyi məhdudlaşa bilər [56].

Məsuliyyət və hüquqi cavabdehlik

Süni intellektin sistemləri klinik qərar vermədə dəstək vasitəsi kimi təqdim olunsada, onların praktikada təsiri bəzən həkimin qərarına birbaşa istiqamət verə bilər. Yanlış və ya natamam təlim məlumatları əsasında işləyən alqoritmlər səhv diaqnoz və ya gecikmiş müdaxilə ilə nəticələnə bilər.

Mövcud etik yanaşmaya görə, klinik qərarın son məsuliyyəti həkimdə qalır. Buna görə də oftalmoloq Sİ-nin nəticələrini tənqidi şəkildə qiymətləndirməli, onu avtomatik və mütləq qərar kimi qəbul etməməlidir. Sİ-nin klinik mühakiməni əvəz etməsi deyil, onu tamamlaması etik baxımdan əsas prinsip kimi qəbul edilməlidir [57].

Alqoritmik qərəz və ədalətlik prinsipi

Süni intellektin modellərinin etibarlılığı onların öyrədildiyi məlumat bazasından asılıdır. Əgər model əsasən müəyyən etnik, yaş və ya coğrafi qruplara aid məlumatlar üzərində təlim keçmişdirsə, digər qruplarda diaqnostik dəqiqlik azalır. Bu isə səhiyyədə bərabərsizliyə və etik ədalətsizliyə səbəb ola bilər.

Məsələn, DR-nın aşkarlanması üçün hazırlanmış model müxtəlif populyasiyalar üzrə klinik etibarlılığın yoxlanılması edilməmişdirsə, fərqli genetik və sosial-demoqrafik xüsusiyyətlərə malik xəstələrdə yanlış nəticələr yarana bilər. Bu səbəbdən alqoritmlərin geniş və müxtəlif məlumat

bazaları üzərində təlim keçməsi və klinik tətbiqdən əvvəl çoxmərkəzli sınaqlardan keçirilməsi vacibdir [58].

Şəffaflıq və izah edilə bilənlik

Dərin öyrənmə modelləri çox zaman “qara qutu” prinsipi ilə işləyir və qərarın hansı parametrlər əsasında verildiyi tam aydın olmur. Bu isə həm həkim, həm də xəstə üçün etimad problemi yarada bilər. Klinik praktikada qəbul edilən qərarların əsaslandırılması isə tibbi etikada fundamental əhəmiyyət daşıyır.

İzah edilə bilən Sİ yanaşmaları qərar prosesinin vizual və ya statistik əsaslarını təqdim etməklə etik şəffaflığı artırır. Xəstənin diaqnozunun hansı görüntü sahəsinə və ya hansı klinik parametərə əsaslandığını bilmək həkimin məsuliyyətli qərar verməsinə kömək edir və xəstənin məlumatlı şəkildə müalicə prosesində iştirakını təmin edir [59].

Məlumatlandırılmış razılıq və xəstənin qərarvermə müstəqilliyi

Klinik praktikada Sİ-nin tətbiqi xəstənin məlumatlandırılmış razılığı prinsipinə uyğun olmalıdır. Xəstə bilməlidir ki, onun diaqnostik qiymətləndirilməsində alqoritmik sistemdən istifadə edilir və son qərar həkim tərəfindən təsdiqlənir.

Razılıq prosesi formal prosedur deyil, xəstənin real şəkildə məlumatlandırılması və qərarvermə prosesində iştirakının təmin edilməsidir. Əgər xəstə Sİ istifadəsinə

etiraz edərsə, alternativ qiymətləndirmə üsulları təqdim olunmalıdır. Bu, qərarvermə müstəqilliyi və etik hörmət prinsipinin qorunması baxımından vacibdir [60, 61].

Yekun

Oftalmologiyada Sİ diaqnostika, monitoring və skrining sahəsində transformativ potensiala malikdir. Tor qişa xəstəliklərinin erkən aşkarlanması, qlaukomanın proqnozlaşdırılması və ROP-un qiymətləndirilməsi istiqamətində əldə olunan nəticələr bu texnologiyanın klinik praktikada real fayda verə biləcəyini göstərir.

Bununla belə, Sİ-nin təhlükəsiz və effektiv inteqrasiyası üçün etik prinsiplərin qorunması, hüquqi çərçivələrin formalaşdırılması və çoxmərkəzli klinik validasiya proseslərinin həyata keçirilməsi vacibdir. Texnoloji inkişaf tibbi etik prinsiplər arasında balansın saxlanması gələcək tətbiqlərin əsas şərti hesab olunmalıdır.

Nəticə etibarilə, Sİ oftalmoloqu əvəz edən deyil, onun klinik qərarvermə imkanlarını gücləndirən innovativ alət kimi qiymətləndirilməlidir. Düzgün tənzimləmə və elmi əsaslandırılmış tətbiq şəraitində bu texnologiya qlobal səviyyədə görmə itkilərinin azaldılmasına və səhiyyə xidmətlərinin əlçatanlığının artırılmasına mühüm töhfə verə bilər.

ƏDƏBİYYAT

REFERENCE

1. Copeland, B.J. Artificial intelligence Definition, Examples, and Applications Britannica.com // Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>, – 2019.
2. Adams, S. Mapping the Landscape of Human-Level Artificial General Intelligence / S.Adams, I.Arel, J.Bach [et al.] // AI Magazine, – 2012. – p. 33. <https://doi.org/10.1609/aimag.v33i1.2322>
3. J.McCarthy, A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence / J.McCarthy, M.L.Minsky, N.Rochester [et al.] // AI Magazine, – 1955. 27(4), – p. 12-14. <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
4. Bali, R. A comprehensive review on artificial intelligence: Concepts, methodologies, and applications / R.Bali, A.Singh, P.Gupta // Journal of Artificial Intelligence Research, – 2019. 7(2), – p. 45-62.
5. Labib, K.M. A Review of the Utility and Limitations of Artificial Intelligence in Retinal Disorders and Pediatric Ophthalmology / K.M.Labib, H.Ghumman, S.Jain [et al.] // Cureus, – 2024. 16(10), – p. 71063. <https://doi.org/10.7759/cureus.71063>
6. Gulshan, V. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs / V.Gulshan, L.Peng, M.Coram // JAMA, – 2016. 316, – p. 2402-2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>
7. Hemelings, R. Deep learning on fundus images detects glaucoma beyond the optic disc / R.Hemelings, B.Elen, J.Barbosa Breda [et al.] // Scientific Reports, – 2021. 11(1), – p. 20313. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99605-1>
8. Tham, Y.C. Detecting visually significant cataract using retinal photograph based deep learning / Y.C.Tham, J.H.L.Goh, A.Anees [et al.] // Nat. Aging., – 2022. Mar; 2(3), – p. 264-271. <https://doi.org/10.1038/s43587-022-00171-6>
9. Cen, L.P. Automatic detection of 39 fundus diseases and conditions in retinal photographs using deep neural networks / L.P.Cen, J.Ji, J.W.Lin [et al.] // Nature Communications, – 2021. 12, – p. 4828. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25138-w>
10. Precision FDA Truth Challenge - Google Genomics v1 documentation / https://googlegenomics.readthedocs.io/en/stagin2/use_cases/discover_public_data/precision_fda.html / February; 26. – 2019.
11. Computer AI passes Turing test in “world first” - BBC News / <https://www.bbc.com/news/technology-27762088> / – 2014. February; 25. – 2019.
12. Russell, S.J. Artificial intelligence: a modern approach. 3rd ed. New Jersey / S.J.Russell, P.Norvig // Pearson Education, – 2010. – p. 5.
13. Levy, M.C. FDA and Artificial Intelligence in Digital Health Innovation Artificial Intelligence Law Blog // – 2018. March; 3. – 2019. <https://www.artificialintelligencelawblog.com/2018/12/fda-artificial-intelligence-digital-health-innovation>
14. Samuel, A.L. Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. II—Recent Progress. In: Computer Games I. New York, NY // Springer New York, – p. 366-400. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8716-9_15
15. Kapoor, R. The current state of artificial intelligence in ophthalmology / R.Kapoor, S.P.Walters, L.A.Al-Aswad // Surv. Ophthalmol., – 2019. 64(2), – p. 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2018.09.002>
16. Akkara, J.D. Role of artificial intelligence and machine learning in ophthalmology / J.D.Akkara, A.Kuriakose // Kerala J. Ophthalmol., – 2019. 31, – p. 150-160. https://doi.org/10.4103/kjo.kjo_54_19
17. Roach, L. Artificial Intelligence // EyeNet Magazine, Nov; – 2017. www.aao.org/eyenet/article/artificial-intelligence.
18. Ting, D.S.W. An Ophthalmologist’s Guide to Deciphering Studies in Artificial Intelligence / D.S.W.Ting, A.Y.Lee, T.Y.Wong // Ophthalmology, – 2019. 126(11), – p. 1475-1479. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2019.09.014>
19. Ramachandran, N. Diabetic retinopathy screening using deep neural network / N.Ramachandran, S.C.Hong, M.J.Sime [et al.] // Clinical & Experimental Ophthalmology, – 2018. 46, – p. 412-416. <https://doi.org/10.1111/ceo.13056>
20. Lim, J.I. EyeArt Study Sugbroup. Artificial Intelligence Detection of Diabetic Retinopathy: Subgroup Comparison of the EyeArt System with Ophthalmologists' Dilated Exams / J.I.Lim, C.D.Regillo, S.R.Sadda [et al.] // Ophthalmology Science, – 2022. Sep; 30. 3(1), – p. 100228. <https://doi.org/10.1016/j.xops.2022.100228>.
21. Abràmoff, M.D. Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices / M.D.Abràmoff, P.T.Lavin, M.Birch [et al.] // NPJ Digital Medicine, – 2018. 1, – p. 39. <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0040-6>

22. Li, Z. An Automated Grading System for Detection of Vision-Threatening Referable Diabetic Retinopathy on the Basis of Color Fundus Photographs / Z.Li, S.Keel, C.Liu [et al.] // *Diabetes Care*, – 2018. 41, – p. 2509-2516. <https://doi.org/10.2337/dc18-0147>
23. Ipp, E. Pivotal Evaluation of an Artificial Intelligence System for Autonomous Detection of Referrable and Vision-Threatening Diabetic Retinopathy / E.Ipp, D.Liljenquist, B.Bode [et al.] // *JAMA Netw Open*, – 2021. 4(11), - e2134254. <https://doi: 10.1001/jamanetworkopen.2021.34254>.
24. Bogunovic, H. Prediction of Anti-VEGF Treatment Requirements in Neovascular AMD Using a Machine Learning Approach / H.Bogunovic, S.M.Waldstein, T.Schlegl [et al.] // *Invest Ophthalmol. Vis. Sci.*, – 2017. 58(7), – p. 3240-3248. <https://doi.org/10.1167/iovs.16-21053>
25. Rohm, M. Predicting Visual Acuity by Using Machine Learning in Patients Treated for Neovascular Age-Related Macular Degeneration / M.Rohm, V.Tresp, M.Muller [et al.] // *Ophthalmology*, – 2018. 125(7), – p. 1028-1036. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.12.034>
26. Treder, M. Automated detection of exudative age-related macular degeneration in spectral domain optical coherence tomography using deep learning / M.Treder, J.L.Laueremann, N.Eter // *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, – 2018. 256, – p. 259-265. <https://doi.org/10.1007/s00417-017-3850-3>
27. Ting, D.S.W. Development and Validation of a Deep Learning System for Diabetic Retinopathy and Related Eye Diseases Using Retinal Images From Multiethnic Populations With Diabetes / D.S.W.Ting, C.Y.Cheung, G.Lim [et al.] // *JAMA*, – 2017. 318, – p. 2211-2223. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.18152>
28. Burlina, P.M. Automated Grading of Age-Related Macular Degeneration From Color Fundus Images Using Deep Convolutional Neural Networks / P.M.Burlina, N.Joshi, M.Pekala [et al.] // *JAMA Ophthalmol.*, – 2017. 135, – p. 1170-1176. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2017.3782>
29. Grassmann, F. A Deep Learning Algorithm for Prediction of Age-Related Eye Disease Study Severity Scale for Age-Related Macular Degeneration from Color Fundus Photography / F.Grassmann, J.Mengelkamp, C.Brandl [et al.] // *Ophthalmology*, – 2018. 125, – p. 1410-1420. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.02.037>
30. Asaoka, R. Using Deep Learning and Transfer Learning to Accurately Diagnose Early-Onset Glaucoma From Macular Optical Coherence Tomography Images / R.Asaoka, H.Murata, K.Hirasawa [et al.] // *Am. J. Ophthalmol.*, – 2019. 198, – p. 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.10.007>
31. Retinal Image Analysis – Glaucoma // May; 6. – 2020. http://www.kalpah.com/RIAG_brochure.pdf
32. Li, Z. Efficacy of a Deep Learning System for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy Based on Color Fundus Photographs / Z.Li, Y.He, S.Keel [et al.] // *Ophthalmology*, – 2018. 125(8), – p. 1199-1206. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.01.023>
33. Al-Aswad, L.A. Evaluation of a Deep Learning System for Identifying Glaucomatous Optic Neuropathy Based on Color Fundus Photographs / L.A.Al-Aswad, R.Kapoor, C.K.Chu [et al.] // *J. Glaucoma*, – 2019. 28(12), – p. 1029-1034. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001319>
34. Christopher, M. Retinal Nerve Fiber Layer Features Identified by Unsupervised Machine Learning on Optical Coherence Tomography Scans Predict Glaucoma Progression / M.Christopher, A.Belghith, R.N.Weinreb [et al.] // *Invest Ophthalmol. Vis. Sci.*, – 2018. 59(7), – p. 2748-2756. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-23387>
35. Kazemian, P. Personalized Prediction of Glaucoma Progression Under Different Target Intraocular Pressure Levels Using Filtered Forecasting Methods / P.Kazemian, M.S.Lavieri, M.P.V.Oyen [et al.] // *Ophthalmology*, – 2018. 125(4), – p. 569-577. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.10.033>
36. Fu, H. Segmentation and Quantification for Angle-Closure Glaucoma Assessment in Anterior Segment OCT / H.Fu, Y.Xu, S.Lin [et al.] // *IEEE Trans Med Imaging*, – 2017. 36(9), – p. 1930-1938. <https://doi.org/10.1109/TMI.2017.2703147>
37. Omodaka, K. Classification of optic disc shape in glaucoma using machine learning based on quantified ocular parameters / K.Omodaka, G.An, S.Tsuda [et al.] // *PLoS ONE*, – 2017. 12(12), – p. 0190012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190012>
38. Good, W.V. The Early Treatment for Retinopathy of Prematurity Cooperative Group*. Final Visual Acuity Results in the Early Treatment for Retinopathy of Prematurity Study / W.V.Good, R.J.Hardy, V.Dobson [et al.] // *Arch. Ophthalmol.*, – 2010. 128(6), – p. 663-671. <https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2010.72>
39. Wang, J. Automated retinopathy of prematurity screening using deep neural networks / J.Wang, R.Ju, Y.Chen [et al.] // *E. Bio. Medicine*, – 2018. 35, – p. 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2018.08.033>
40. Taylor, S. Monitoring disease progression with a quantitative severity scale for retinopathy of prematurity using deep learning / S.Taylor, J.M.Brown, K.Gupta [et al.] // *JAMA Ophthalmol.*, – 2019. 137(9), – p. 1022-1028. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2019.2433>
41. Brown, J.M. Automated diagnosis of plus disease in retinopathy of prematurity using deep convolutional