

UOT: 617.7-004.89

Hüseynli S.F.

SÜNİ İNTELLEKTİN OFTALMOLOGİYADA TƏTBİQİNİN ƏHƏMİYYƏTİ VƏ GƏLƏCƏK PERSPEKTİVLƏRİ (ƏDƏBİYYAT İCMALI)*Akad. Zərifə Əliyeva adına Milli Oftalmologiya Mərkəzi, Bakı şəh., AZ1114, Cavadxan küç., 32/15*

Huseynli S.F.

THE IMPORTANCE AND FUTURE PROSPECTS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPHTHALMOLOGY (LITERATURE REVIEW)**SUMMARY**

In recent years, AI techniques have shown to be an effective diagnostic tool to identify various diseases. As a field with a lot of imaging and measurable data, ophthalmology is ideal for application of artificial intelligence (AI). The ophthalmic diseases where AI is being used are diabetic retinopathy, glaucoma, age-related macular degeneration, retinopathy of prematurity, retinal vascular occlusions, keratoconus, cataract, refractive disorders, retinal detachment, squint, and ocular cancers. It is also useful for intraocular lens power calculation and planning intravitreal antivascular endothelial growth factor injections. AI assist the ophthalmologists in rapid screening of patients, thus reducing diagnostic errors and improving treatment. Nowadays ophthalmologists should know about AI resources and judicious use of them.

Key words: *artificial intelligence in ophthalmology*

Гусейнли С.Ф.

ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОФТАЛЬМОЛОГИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**РЕЗЮМЕ**

В последние годы методы искусственного интеллекта показали себя как эффективный диагностический инструмент для выявления различных заболеваний. Как область с большим количеством изображений и измеряемых данных, офтальмология идеально подходит для применения искусственного интеллекта (ИИ). К офтальмологическим заболеваниям, в которых используется ИИ, относятся диабетическая ретинопатия, глаукома, возрастная макулярная дегенерация, ретинопатия недоношенных, окклюзия сосудов сетчатки, кератоконус, катаракта, рефракционные нарушения, отслойка сетчатки, косоглазие, опухоли глаза и придаточного аппарата. Это также полезно для расчета силы интраокулярной линзы и планирования интравитреальных инъекций антивазкулярного эндотелиального фактора роста. ИИ помогает офтальмологам быстро обследовать пациентов, что позволит уменьшить диагностические ошибки и улучшить лечение. В настоящее время офтальмологи должны знать о ресурсах ИИ и их разумном использовании.

Ключевые слова: *искусственный интеллект в офтальмологии*

Qlobal dünya əhalisində qocalmanın artması əsas demoqrafik tendensiya kimi qiymətləndirilən bir zamanda görmə orqanı patolojiyasının artması bu demoqrafik dəyişikliyə paralel şəkildə inkişafı gözlənilməkdədir. Həyat keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması və korluqla mübarəzə planlarının aparılması görmə

orqanı patolojiyasının erkən diaqnostikası və müalicəsini zəruri edir. Xəstəliklərin erkən diaqnostikası ilk növbədə həkimlərin peşəkar bilik və təcrübəsindən asılıdır ki, hər hansı bir səhv və ya tibbi məlumatların itkisi xəstəliyin erkən aşkarlanmasında və sonrakı müalicəsinə əngəl yaratmış olur. Bu səbəbdən süni intellekt (Sİ) və oftalmologiyanın birlikdə inteqrasiyası bu problemin həllində inqilabi dönüş yaratmaqdadır.

Müxtəlif problemlərin həllində riyazi məntiqin istifadəsi çox əvvəllərə təsadüf etməsinə baxmayaraq Sİ termin olaraq ilk dəfə 1955-ci ildə Makkarti və həmmüəllifləri tərəfindən Darmut kollecinə daxil olmaq üçün seminarla təklif edilmiş model kimi ilk dəfə tarixə düşmüşdür [1]. Makkarti və həmmüəlliflərinin əsas məqsədi birgə səy nəticəsində ümumi konsepsiyanın tərtibi və problemin həlli yollarını özündə birləşdirən maşının yaradılması dururdu. 1988 ildə isə ilk dəfə Kvoh tərəfindən beyn biopsiyasının robotlaşdırılmış prosedurunun yaradılması haqda nəşr dərc olundu [2].

Kompüterlərin istifadəsi tibbi qərarların qəbulu baxımından getdikcə aktuallaşdı və süni intellekt metodları son zamanlarda tibbdə əhəmiyyətli irəliləyişlər nümayiş etdirdi. Buna görə də, oftalmologiyada tətbiq olunan yeni alqorimlərin müxtəlif patologiyaların erkən diaqnostikası və müalicəsi mükəmməlləşdirmək baxımından potensial təsirlərini başa düşmələrinə kömək etmək üçün mövcud süni intellekt metodları və tətbiqlərini nəzərdən keçirilməsi və hazırlanması bu günkü elmin əsas prioritetlərindən birinə çevrilmişdir. Aparılan tədqiqat işləri SI-in oftalmologiyada tətbiq etmək üçün çoxsaylı araşdırmalara ilham vermişdir. Artıq hazırlanmış SI alqorimlərdən - EyePACS, Messidor və Kaggle'nin baza məlumatları kimi çox əlçatan sistemləri göstərmək olar ki, bu məlumatlar sistemi ilə birlikdə müxtəlif oftalmoloji problemlərdə irəliləyişlər əldə edilə bilər [3,4].

Oftalmologiyada Sİ ən geniş tətbiq sahəsi diabetik retinopatiya, yaşa bağlı makula degenerasiyası (YMD) (burada görüntülü fundus foto şəkillərinin və optik koherent tomografiya- angiografiya şəkillərinin təhlili), glaukoma və vaxtıdanqabaq doğulmuşların retinopatiyası, katarakta, keratokonus və bir sıra xəstəliklərin diaqnostikasında həyata keçirilməkdədir. Əvvəllər güclü bir server kompüterini tələb olunduğu halda, son illərdə alqoritmə offline işləyə bilən bir smartfonda SI-in meydana gəlməsi ilə bu sahədə böyük irəliləyişlər əldə edildi. Bununla birlikdə, fundus görüntüsünün təhlili, göz içi linzaların (IOL) hesablamasından tutmuş miyopiyanın proqnozuna qədər ağıllı elektron tibbi sənədlərə qədər olan digər müxtəlif sahələri də SI əsaslanmaqdadır [5-8].

Sİ modelinin qurulması zamanı aşağıdakı addımlar həyata keçirilir: əvvəlcədən işlənmiş görüntü məlumatlarını hazırlamaq, onları bazaya daxil etmək, təhlil üsullarını tətbiq etməklə modeli qurmaq, təsdiqləmək və sınaqdan keçirtmək, sonda təlim keçmiş modelin fəaliyyətini qiymətləndirmək daxildir [9, 10].

Sİ modelinin proqnozlaşdırma səmərəliliyini artırılması məqsədi ilə prosesin gedişatı mərhələli şəkildə aparılır: əvvəlcədən çoxsaylı qarışıq məlumatların seçilməsi aparılmalıdır. Bu xam məlumatların işlənməsi bütün tədqiqatlarda aparılmalıdır. Bu mərhələ məlumat bazasının keyfiyyətini artırma bilər və

təlim prosesini optimallaşdırma bilər. Daha sonra müxtəlif mənbələrdən toplanan məlumatlar inteqrasiya olunmalı və ümumi miqyasda tənzimlənməlidir. Xüsusiyyət seçimi və hasilatı: ən uyğun xüsusiyyətlər – parametrlər prosesinin fəaliyyətini yaxşılaşdırmaq üçün seçilir və önə çıxarılır. Yaxşı bir nəticəyə nail olmaq üçün verilənlər təsadüfi olaraq iki müstəqil alt hissəyə bölünür, biri modelləşdirmə, digəri isə test üçün nəzərdə tutulur. Əvvəlki hissələrdəki məlumatlar əksər hallarda yenidən təlim qrupu və yoxlama qrupuna bölünəcəkdir. Təlim qrupu bir modelin parametrlərinə uyğunlaşdırmaq üçün istifadə olunur. Yoxlama qrupu modelin nə qədər yaxşı öyrədildiyini qiymətləndirmək və parametrləri tənzimləmək və ya təlim qrupu əsasında əldə edilmiş proqnoz alqoritmlərinin performanslarını müqayisə etmək üçün istifadə olunur. Test qrupu təlim keçmiş modelin son fəaliyyətini qiymətləndirmək üçün istifadə olunur. Alqoritmlərin qiymətləndirilməsi və optimallaşdırılması üçün çarpaz təsdiqləmə metodlarından geniş istifadə edilmişdir. Ən çox qəbul edilən çarpaz təsdiqləmə "K qatlanan çarpaz təsdiqləmə" ("K-fold cross-validation") -dir. Beş qat çarpaz təsdiqləmə və 10 qat çarpaz təsdiqləmə ən çox istifadə olunur [11,12].

Sİ tətbiqlərinin qiymətləndirilməsi:

ROC (Receiver operating characteristic curve)- alınmış işlənmələrin xarakteristik əyrisi

alqoritmlərin işini təsvir etmək üçün faydalı bir vasitədir. Hər bir alqoritm və ya parametrlərin spesifiklik və həssaslığının aşkarlanma ehtimalını təyin etmək məqsədi ilə yaradılmışdır. Əyri altında hər bir parametr üçün həssaslıq və yanlış müsbət nisbət (1 - spesifiklik) bir-birinə qarşı qurulur. Sİ diaqnozunda bir modelin kəmiyyət qiymətləndirilməsi üçün ən çox istifadə edilən qiymətləndirmə ölçümləri olan əməliyyat xarakteristik əyriləri sahəsi yardılır (AUC - The area under receiver operating characteristic curves). Effektiv modellərin AUC-ləri 0,5 ilə 1 arasında dəyişir; AUC dəyəri nə qədər yüksək olarsa, modelin performansı bir o qədər yaxşı qiymətləndirilir [13].

Süni intellektin yaradılması və tətbiqi zamanı proqram tərtibinin bir neçə üsulları həyata keçirilməkdədir. Maşın öyrənmə (MÖ) SI-in bir alt növü olaraq, aparılan tədqiqatlara daxil olan geniş həcmdə baza məlumatlarına əsaslanaraq nəzərdə tutulan son nəticənin necə alınması haqqında dəqiq təlimatlar almadan proqram təminatını həyata keçirtməkdədir. Dərin öyrənmə (DÖ), məlumat əldə etmək üçün məlumatları emal etmək təlimatlarını müəyyənləşdirməyə çalışan, proqram tərəfindən təyin edilmiş "neyron" lardan hazırlanmış çox sayda konvulsional neyron şəbəkələrini (CNN) istifadə edən MÖ tipidir [14].

Hal hazırda böyük texnoloji şirkətlər oftalmologiyada istifadə üçün SI sistemlərinin yaradılmasına maraq göstərməkdədirlər. Google'un DeepMind Health, Moorfields Eye Xəstəxanası ilə apardığı bir araşdırmada, optik koherent tomografiyanın tətbiqi ilə əllyə yaxın göz xəstəliklərini aşkarlaya biləcəklərini göstərdilər. IBM-in Sİ vasitəsi ilə OKT məlumatlarına əsasən görmə sahəsinin görüntüsünü təxmin edə bilən proqramı yaradılmışdır. Eləcə də Microsoft İntellektual Şəbəkəsi (Microsoft Intelligent Network), gözəqayğı (Eyecare) proqramında Sİ tətbiqi korluğa qarşı mübarizə və gözə çatdırma

sistemlərini işləmişdir. Oftalmologiyada nəzərdə tutulan bu Sİ tətbiqləri bir neçə aydan bir yenilənmək və yaradılmaq üzrədir. Bura Pegasus (Visulytix Ltd.) Medios AI (Remidio Pvt., Ltd.) və IDx-DR (IDx Technologies Inc.) və s aiddir [15-19].

Diabetik retinopatiya Sİ -in oftalmologiyada ən məşhur istifadəsi olaraq, bir neçə araşdırma və icmalların nəticəsində fundus fotosəkillərinə əsaslanaraq diabetic retinopatiyanı qiymətləndirməkdədir [20-30].

ABŞ-ın ilk dəfə Qida və Dərman İdarəsi (FDA) tərəfindən təsdiqlənmiş Sİ əsasında DR və diabetik makula ödeminin erkən mərhələsində aşkar etmək üçün yaradılan IDx-DR sistemi yaradılmışdır [24].

Diabetik retinopatiyada makula ödemi, yumşaq və quru ekssudatlar, mikroanevrizmalar və optik diskdə neovaskulyarizasiya kimi spesifik anormal dəyişikliklər adi maşın öyrənmə modeli tərəfindən aşkar edilə bilər. Bu əlamətlərə əsaslanaraq avtomatlaşdırılmış bir şəkildə DR-nin erkən diaqnozu tədqiq edilmişdir. Bundan əlavə, nəzarət və tibbi müdaxiləni təmin etmək üçün vaxtında və effektiv şəkildə proliferativ DR (PDR) aşkarlanmasına yönəlmiş bir sistem hazırlanmışdır [25-30].

İlk olaraq Gülşən və həmmüəllifləri DR identifikasiyası üçün dərin öyrənmə tətbiqini yaratmışdılar [3]. Dərin CNN (DCNN) -i nəzarət altına almaq üçün böyük fundus görüntü məlumat dəyərlərindən istifadə etdilər. Onlar DÖ texnikalarına əsaslanan metodun çox yüksək həssaslığa və spesifikliyə sahib olduğunu göstərdilər ki, metodun sübut ediləbilən DR-i aşkar etmək üçün hesablama əsasında AUC-u 0.99 təşkil etmişdir. Son iki ildə DR-nin avtomatik aşkarlanması üçün təsirli bir performansla sahib bir sıra DÖ modellər hazırlanmışdır [31-34]. Bu modellər DR diaqnostikasında əhəmiyyətli rol oynasalarda fundus fotosəkillərinə əsasən digər patologiyalarda yaranacaq eyni dəyişikliklər və ya xəstəliyin daha ağır mərhələlərindəki dəyişikliklərin təyindəki çatışmamazlığı ilə özünü göstərmişdir.

Yuxarıda göstərilən tədqiqatların əksəriyyəti əsasən fundus fotosəkillərinin təhlilinə yönəldilmişdir. DR üçün modellər qurmaq üçün istifadə olunan bəzi digər görüntüləmə üsulları da var. ElTanboly və başqaları 52 optik koherent tomoqrafiyası (OKT) şəkilləri vasitəsilə DR-ni aşkar etmək üçün bir DÖ əsaslı bir sistem hazırladı, sistemin AUC- u 0.98 [29] təşkil etdi. Ancaq bu tədqiqatlarda çarpaz doğrulama prosesində yaxşı nəticələrə baxmayaraq, sistemin daha böyük xəstə qruplarında təsdiqlənməsi lazımdır. Avtomatik olaraq qeyri -poliferativ DR diaqnozu qoymaq üçün optik koherent tomoqrafiya angiografiyası (OCTA) şəkillərindən istifadə edərək adi MÖ alqoritmlərinə əsaslanan bir kompüter diaqnostikası (CAD) sistemi də yüksək dəqiqlik və AUC əldə etmişdir [30].

Təsvir səviyyəsində proqnozlarda hansı pikselin önəmli rol oynadığı vizuallaşdırılaraq DR diaqnostik modellərinə tətbiq edilmişdir. Tətbiq DÖ əsasında həkimlərin DR proqnozlarını daha yaxşı başa düşmələrinə kömək edən vacib patoloji bölgələri vurğulayır. Belə üsullar, ağıllı diaqnostik modellərin həqiqi klinik praktikada tətbiqini artırır. Belə ki, tipik olaraq maşın öyrənmə sistemləri güclü bir server kompyuterində işləyir. Fundus fotoaparatu istifadə edilərək çəkilən şəkillər sonradan toplanır və

qiymətləndirilir və ya internet vasitəsilə hesabatı yaradan və cihazı geri göndərən güclü serverə yüklənir. DIYretcam, T3retcam, MIIretcam, JaizRetcam və Hopscope kimi ucuz smartfonlara əsaslanan fundus kameralarının meydana gəlməsi ilə sürətli görüntü təhlili əvəzsiz rol oynamaqdadır. Son bir araşdırmada Sosale et al. Remidio Fundus on-Phone (Remidio Innovative Solutions Pvt. Ltd., Bengaluru, Karnataka, Hindistan) bir offline SI (Medios AI) sistemini qiymətləndirdi və yüksək həssaslıq (93%) və spesifikliyini (92.5%) göstərdi [31-34]. Göstərilən offline SI sistemi bu texnologiyamı şəbəkəsi zəif olan ərazilərdə əlçatan edəcəkdir.

Qlaukomanın qiymətləndirməsi məqsədi ilə gözdaxili təzyiqinin ölçülməsi, optik diskdə ekskvasiya sahəsinin, görmə sahəsinin, gonioskopiya və retinal sinir lifi təbəqəsi (RNFL) və ganglion hüceyrə qatının (GCL) qalınlığının ölçülməsi üçün optik koherent tomoqrafiyası kimi müayinələr aparılmaqdadır [35-39]. Glaukoma SI sistemləri müntəzəm OKT maşınlarının avtomatik olaraq disk ölçüsü, ekskvasiya sahəsi, neyroretinal rim sahəsi, RNFL qalınlığı və GCL qalınlığı və s. istifadə etməkdədir. Bu sistemlər bütün bu parametrləri avtomatik olaraq ölçdüyünü təhlil edərək qlaukoma üçün hərtərəfli müayinə planına daxil olan gözdaxili təzyiqinin ölçülməsi, optik diskdə ekskvasiya sahəsinin, görmə sahəsinin, gonioskopiya və HRT və ya OKT-də sinir lifi təbəqəsi (RNFL) və ganglion hüceyrə qatının (GCL) parametrləridə daxil olmaqla bütün parametrləri birlikdə qiymətləndirməlidir; lakin belə bir SI sistemi hələ hazır deyil. Hal hazırda isə bir sıra tədqiqatlar qlaukoma üçün müxtəlif SI və MÖ sistemlərini ayrı ayrı müayinə avadanlıqlarında alınmış parametrlərə əsasən qiymətləndirdi [36].

Martin və başqaları tərəfindən göz içi təzyiqinin monitorinqi üçün istifadə olunan sensorun 24 prospektiv klinik tədqiqatlarından toplanmış məlumatları təhlil edilmişdir (SENSIMED Triggerfish, Sensimed AG, Lozanna, İsveçrə). Onlar birincili açıq bucaqlı qlaukoma xəstələri ilə əlaqəli parametrləri müəyyən etmək üçün təsadüfi meşə modelləşdirməsi adlanan (random forest model) MÖ tətbiqindən istifadə etdilər [37].

Nivas və başqaları ön segment OCT nəticələrinə əsasən qapalı bucaqlı glaukomanı təsnif etmək üçün tam avtomatlaşdırılmış bir modeli qiymətləndirdi və bu metod 89.2% dəqiqlik göstərdi [38].

Yaşla bağlı macula degenerasiyası (YMD)

YMD inkişaf etmiş ölkələrdə yaşlı insanlar arasında geri dönməz korluğun aparıcı səbəbidir. MÖ alqoritmlərindən istifadə edərək YMD diaqnozu və müalicəsini yaxşılaşdırmaq məqsədi ilə YMD ilə əlaqəli patoloji dəyişiklikləri avtomatik olaraq müəyyənləşdirmək mümkün olmuşdur. MÖ metodundan [40] istifadə edərək fundus şəkillərindən və SD-OCT-dən alınmış görüntülərə əsasən druz eksudat və coğrafi atrofiya aşkar edilmişdir. Metodun dəqiqliyi ümumiyyətlə 80% -dən çoxdur ki, bu modellərdən alınan nəticələrlə retina mütəxəssisləri arasında aparılan razılışma 90% -ə çata bilər [40-43].

Bogunovic və başqaların apardığı tədqiqatda orta ağırlıqlı YMD-da progressiya riskini proqnozlaşdırmaq məqsədi ilə məlumat bazasına əsaslanan proqnozlaşdırıcı model tətbiq etdirmişdirlər. Xəstəliyin müxtəlif mərhələlərindən ardıcıl olaraq alınmış görüntü məlumatlarının avtomatlaşdırılmış təhlili ardıcıl olaraq təhlil edilmişdir. Onlar bu cür xarakterik analizdən istifadə edərək, risk hesabını qiymətləndirmiş və fərdi druzların baş verən reqresini proqnozlaşdırmaq üçün təhlili əsasında MÖ metodu hazırlamışdılar. Hazırkı MÖ metodu YMD diaqnostika və müalicəsində klinik praktikada güclü bir vasitə olmaqla, effektiv proqnozlaşdırma potensialına malikdir.

Neovaskulyar YMD və proliferativ DR kimi göz xəstəliklərində damar əleyhinə endotel böyümə faktorunun (anti-VEGF) inyeksiyası ilə aparılan müalicənin proqnozlaşdırmaq üçün MÖ-dən istifadə xəstələrin iqtisadi yükünü azaldaraq və resursların idarə edilməsini asanlaşdırır. Bogunovic və başqaları aşağı və ya yüksək anti-VEGF inyeksiyasına ehtiyac tələbləri olan xəstələrin müvafiq OCT şəkilləri əsasında proqnozlaşdırılan bir model əldə etmək üçün təsadüfi meşə modelini işləmişdirlər. Nəticədə model müalicə ehtiyacının proqnozlaşdırılması üçün 70% - 80% arasında möhkəm AUC göstərmişdir [41]. Prahs və s. Anti-VEGF inyeksiyası ilə əlaqəli qərar qəbul etməyi asanlaşdırmaq üçün dərin CNN metodundan istifadə etdilər. Bu tədqiqatlar, neovaskulyar YMD və ya proliferativ DR-nin müalicəsinin idarə edilməsində aparılacaq fasilələrinin görüntü rəhbərliyi ilə proqnozlaşdırılması istiqamətində aparılan vacib bir işlərdən biridir [42].

Avtomatik diaqnoz və YMD-nin qiymətləndirilməsi üçün çoxlu MÖ üsulları tətbiq edilmişdir. Lakin son 2 ildə ən təsirli işlər DÖ texnikasına söykənmişdir. Treder və s. SD-OCT -dən eksudativ YMD-ni avtomatik aşkar etmək üçün model yaratmışdır. Fundus şəkillərinə əsaslanan tədqiqat işlərində YMD ilə təsvirlərə əsasən təsnifatlar yaradılmışdır [43]. Diaqnostik dəqiqlik həkimlərin diaqnostik nəticələri ilə müqayisə edilmişdir. DÖ alqoritmləri həmçinin eksudatlar, makula ödemi druz və xoroidal neovaskulyarizasiya kimi anormallıqları avtomatik aşkar etmək üçün də istifadə edilmişdir.

Kataraktın diaqnostikası və müalicəsində MÖ alqoritmləri fundus görüntülərindən, ultrasəs görüntülərindən istifadə etməklə tətbiq edilmişdir [44]. Həmçinin fakoemulsifikasiyadan sonra arxa kapsulun bulanması üçün risk proqnozu yarada bilən model də qurulmuşdur [45].

Ən təsirli MÖ modelləri isə pediatrik sahədə anadangəlmə kataraktın təsnifi üzrə qurulmuş modellərdir. Long və başqaları uşaq kataraktını təsnifləşdirmək və sinfləndirmək üçün CNN əsaslı kompüter köməyi ilə diaqnoz (CAD) alqoritmini qurmuşdur [46,47, 48].

Sİ əsas oftalmoloqiada tətbiq sahəsindən biridə süni büllurun (İOL) gücünün hesablanmasına yönəldilmiş ML alqoritmlərinin yaradılmasıdır. SI-lə işləyən İOL hesablamalarına Hill-Radial baza funksiyası (RBF), Ladas Super Formula, Clarke Neural Network və FullMonte Metodu daxildir. Bir neçə

digər tədqiqat da SI –in IOL hesablanması üçün istifadə etməyə çalışdı [49-53]. Kane et al., 2017-ci ildə Hill-RBF, Ladas Super Formula və FullMonte'nin dəqiqliyini Holladay 1 və Barrett Universal formulaları ilə müqayisə etdilər, ancaq formulaların hansının doğru olduğunu dəqiq göstərə bilmədilər [54].

Ən yaxşı bilinən SI formulu, tanıma və məlumatların düzgündəyərləndirməsindən istifadə edən <https://rbfcalculator.com/online/> saytında mövcud olan Dr. Warren Hill tərəfindən hazırlanan Hill-RBF düsturudur [53]. Hal hazırda 2.0 versiyasındadır və 12,419 gözdən alınan məlumat istifadə edir. Tələb olunan biometriya məlumatlarına aksial uzunluq, ön kameranın dərinliyi və keratometriya dəyərləri və onların oxları daxildir. Dəqiqliyi yaxşılaşdırma ilə əlavə məlumatlara mərkəzi buynuz qısa qalınlığı, büllurun qalınlığı və “ağdan-ağa” aparılan ön seqment ölçüsü daxildir.

Vaxtından qabaq doğulmuşların retinopatiyası zamanı Sİ sistemlərində ROP müayinəsi üçün RetCam (Massie Research Laboratories, Inc. Dublin, California) kimi kameralardan alınan əsaslı görüntülərdən istifadə olunmaqdadır. Bura ROPTool, retinal görüntünün çoxölçülü təhlili, retinanın kompüter köməyi ilə görüntü təhlili daxildir. Arteriyaların və damarların patoloji vəziyyətini özündə cəmləşdirən i-ROP sisteminin diaqnostik dəqiqliyi mütəxəssis oftalmoloqlarla müqayisə edilə bildi və 95% dəqiqlik göstərmişdir [55,56].

Keratokonusun diaqnostikasında SI–in tətbiqi Placido topoqrafiyasından, Scheimpflug tomoqrafiyası, SD-ASOCT və biomexaniki ölçülərdən (Corvis ST, kornea histerezi) alınan parametrlərin analizi əsasında subklinik keratokonusun və keratokonusun aşkar edilməsi üçün istifadə edilmişdir. Burada Pentacam, Sirius, Orbscan II, Galilei, topoqraf və tomoqrafların məlumatları erkən keratokonusu aşkar etmək üçün MÖ alqoritmlərindən istifadə edilməklə tədqiq edilmişdir [57-62]. Bu sırada Qafqaz populyasiyasında aparılan tədqiqatda Şeimflyuq əsaslı tomoqrafiya əsasında MÖ modeli əsasında subklinik keratokonusun aşkarlanmasında əsas parametrlərin təyini aparılmışdır [60,61].

Ambrósio və başqaları Buynuz qısa ektaziyalarını erkən aşkarlamasının həssaslığını artırmaq üçün Şeimplyug əsaslı tomoqrafiya və biomexanikanı (Corvis ST) birləşdirən SI əsaslı tomoqrafik və biyomekanik göstəricini (TBI) yaratmış və qiymətləndirmişdirlər [62]. Son illərdə Süni intellekt üsulları, səhiyyə sahəsindəki müxtəlif xəstəlikləri müəyyənləşdirmək üçün təsirli bir diaqnostik vasitə olduğunu göstərməkdədir. SI tətbiqləri mütəxəssis biliklərini və konkret xəstəliklər haqqında daha spesifik məlumatları paylaşaraq ucqar ərazilərdəki xəstələrə dəstək vermək üçün böyük töhfələr verə bilər. Ancaq Sİ modellərin dəqiqliyi inanılmaz dərəcədə perspektivli olsa da, bu modelləri real situasiyada tətbiqini düşünərkən diqqətli və ehtiyatlı olmaq lazımdır.

Göz xəstəliklərinin diaqnozu ilə bağlı aparılan tədqiqatların çoxu ikili (binar) təsnifat problemlərinə yönəldilmiş, yəni hər hansı bir avadanlıqda aparılan tədqiqatın dəqiqliyi konkret xəstəliyin diaqnozuna yönəldilərək həmin xəstəliyin aşkarlanma spesifikliyinin tədqiq olunmasına həsr edilmişdir, halbuki klinik şəraitdə müayinə edilən pasiyentlər çox kateqoriyalı xəstəliklərdən əziyyət çəkirlər. Məsələn, yaşa

bağlı makula degenerasiya (YMD) aşkar etmək üçün öyrədilmiş bir model, qlaukoma olan bir xəstəni xəstə hesab etməyəcək, çünki model yalnız YMD-nı qeyri YMD-dan ayırd edə bilər. Choi və həmkarları, fundus fotoşəkilləri ilə çox fərqli retinal xəstəlikləri avtomatik olaraq aşkar etmək üçün dərin öyrənmə (DÖ) tətbiq edən bir iş apardılar. Təklif olunan DÖ modelində yalnız normal və diabetik retinopatiyası olan xəstələrin fundus şəkilləri iştirak etdikdə təsnifat dəqiqliyi 87,4% idi. Bununla birlikdə, təsnifat bütün 10 kateqoriyaya daxil olan xəstəliklər daxil olduqda dəqiqlik 30.5% -ə düşdü [63]. Bu, xəstəliklərin sayının artması ilə modelin düzgünlüyünün azaldığını göstərir. SI-nin klinik praktikada tətbiq olunmasını daha da artırmaq üçün müxtəlif retinal xəstəlikləri yüksək dəqiqliklə aşkarlaya bilən ağıllı sistemlərin yaradılması üçün daha çox səy göstərməlidir.

Bundan əlavə, bir görüntülmə texnikasından aşkar edilən bir anormallıq, klinik praktikada həmişə müəyyən bir retinal xəstəliyin (məsələn, DR və ya qlaukoma) düzgün diaqnozunu təmin edə bilməz. Daha etibarlı Sİ diaqnozu üçün ümumiləşdirilmiş SI sistemini yaratmaq üçün optik koherent tomoqrafiyası, görmə sahəsi və fundus foto şəkilləri kimi multimodal klinik nəticələr birləşdirilməlidir.

Bununla birlikdə, Sİ sistemlərinin yaradılmasında çoxlu sayda patologiyası olan və olmayan fərdlərdən alınan məlumatların toplanmasına yaranan ehtiyac ən fundamental problem olaraq qalır. Müxtəlif məlumat dəstləri mövcud olsa da, onlar yalnız insanın sistemə daxil etdiyi xəstələrdən alınmış məlumatların az bir hissəsini özündə cəmləşdirirlər. Belə ki, xəstəliklərin nadir və müxtəlif fenotipik təzahür formaları və ya atipik gedişatı zamanı əldə edilən tibbi məlumatların sistemə əlavə edilməsi hələdə qənaətbəxş deyildir. Sistemə daxil edilən giriş məlumatlarını seçərkən populyasiyanın xüsusiyyətləri, müxtəlif sistematik xəstəliklərin mövcudluğu və müxtəlif xəstəliklərin fenotipləri nəzərə alınmalıdır. Belə ki, müxtəlif populyasiya və etnik qruplarda, o cümlədən müxtəlif klimatik zonalardan olan kohortlardan alınmış nəticələrin böyük məlumat avtomatlaşdırılmış diaqnoz sisteminə yüklənməsi Sİ sistemlərinin yaradılmasının əsas hissəsidir.

Eyni zamanda məlumatların keyfiyyətindən yüksək asılılıq nəzərə alınmalıdır. Fərqli görüntü cihazlarından, müxtəlif görüntü protokolları və onların sistemə doldurulmasından alınan nəticələr məlumatların keyfiyyətinə təsir göstərə bilər ki, bu da yaradılmış modellərin fəaliyyətinə böyük təsir göstərə bilər. Gələcək Sİ mododollarında məlumatların işlənməsi ilə yanaşı fərqli keyfiyyətlərə malik şəkilləri analiz etmək üçün universal faydalı metodları da təcili olaraq inkişaf etdirməkləzimidir.

SI modellərini şərh etmək üçün daha çox metod inkişaf etdirilməli və bu SI diaqnozunda tətbiq edilməlidir. Üstəlik, bu metodları sistematik qiymətləndirmək üçün standartlar da nəzərə alınmalı və inkişaf etdirilməlidir.

Nəticə etibarı ilə, kifayət qədər yüksək keyfiyyətli və multimodal məlumatlardan və qabaqcıl metodlardan istifadə etməklə şərh edilə bilən sistematik SI platformaları hal hazırda işlənilir və tətbiq olunmaqdadır. Müxtəlif klinik vəziyyətlərdə ağıllı sistemlərin tətbiqi ilə Sİ-in istifadəsini artırmaqla

oftalmologiyada müxtəlif xəstəliklərin erkən və daha sürətli diaqnostikası və müalicə sxemlərinin yaradılması mümkün olacaqdır. Gələcək prespektivlərdə yuxarıda göstərilən bir sıra problemlərin həlli təkmilləşdirilərək, SI sistemlərini mövcud xəstəliklərin diaqnostikasında inqilab etmək və yaxın gələcəkdə əhəmiyyətli bir klinik təsir yaratmaqla geniş klinik istifadəsində öz töhfəsini verəcəkdir.

ƏDƏBİYYAT:

1. Graham N. Artificial Intelligence. Blue Ridge Summit: Tab Books, Philadelphia, PA, USA, 1979, v.1076.
2. Kwok Y, Hou J, Jonckheere G, Hayah S. A Robot with improved absolute positioning accuracy got CT-guided stereotactic brain surgery. // IEEE Trans Biomed Eng. 1988, v. 55(2), p.153–60.
3. Gulshan V., Peng L., Coram M. et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs // JAMA. 2016, v.316(22), p.2402.
4. Quellec G., Charrière K., Boudi Y. et al. Deep image mining for diabetic retinopathy screening // Medical Image Analysis, 2017, v.39, p.178–193.
5. Caixinha M., Nunes S. Machine learning techniques in clinical vision sciences // Curr. Eye Res., 2017, v.42(1), p.1-15.
6. Lee A., Taylor P., Kalpathy-Cramer J. et al. Machine learning has arrived // Ophthalmol., 2017, v.124(12), p.1726–1728.
7. Rahimy E. Deep learning applications in ophthalmology // Curr. Opinion in Ophthalmol., 2018, v.29(3), p.254–260.
8. Catania L.J., Nicolitz E. Artificial intelligence and its applications in vision and eye care. // Adv. Ophthalmol. Optom., 2018, v.3(1), p.21–38.
9. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature, 2015, v.521(7553), p.436–444.
10. Breiman L. Random forests // Machine Learning 2001, v.45(1), p.5–32.
11. Chang C.C., Lin C.J. LIBSVM: a library for support vector machines // ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2011, v.2(3), p.1–27.
12. Statnikov A., Wang L., Aliferis C. F. A comprehensive comparison of random forests and support vector machines for microarray-based cancer classification // BMC bioinformatics, 2008, v.9(1), p.1-10.
13. Hajian-Tilaki K. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis for medical diagnostic test evaluation // Caspian J. Internal Med., 2013, v.4(2), p.627–635.
14. Lee J., Jun S., Cho Y. et al. Deep learning in medical imaging: general overview // Korean J. Radiol., 2017, v.18(4), p.570.

15. AI Holds Promise for Glaucoma, a Leading Global Cause of Blindness // IBM Research Blog; 2019. Available from: <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/05/ai-glaucoma/>.
16. Microsoft, LV Prasad Eye Institute and Global Experts Collaborate to Launch Microsoft Intelligent Network for Eyecare. Microsoft News Center India; 2016.
17. Pegasus. Available from: <https://pegasus.visulytix.com>.
18. Medios AI-Remidio. Available from: <https://www.remidio.com/medios.php>.
19. IDx-DR EU. Available from: <https://www.eyediagnosis.co/idx-dr-eu-1>.
20. Padhy S.K., Takkar B., Chawla R. et al. Artificial intelligence in diabetic retinopathy: A natural step to the future // Indian J. Ophthalmol., 2019, v.67, p.1004-1009.
21. Sosale A.R. Screening for diabetic retinopathy – Is the use of artificial intelligence an cost-effective fundus imaging the answer? // Int. J Diabetes. Dev Ctries, 2019, v.39, p.1-3.
22. Rajalakshmi R., Subashini R., Anjana R.M. et al. Automated diabetic retinopathy detection in smartphone-based fundus photography using artificial intelligence // Eye (Lond), 2018, v.32, p.1138-44.
23. Takahashi H., Tampo H., Arai Y. et al. Applying artificial intelligence to disease staging: Deep learning for improved staging of diabetic retinopathy // PLoS One, 2017, v.12., p.0179790.
24. Ting D.S., Carin L., Abramoff M.D. Observations and lessons learned from the artificial intelligence studies for Diabetic retinopathy screening // JAMA Ophthalmol., 2019, v.137(9), p.994-995.
25. Niemeijer M., van Ginneken B., Russell S. R. et al. Automated detection and differentiation of drusen, exudates, and cotton-wool spots in digital color fundus photographs for diabetic retinopathy diagnosis // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 2007, v.48(5), p.2260.
26. Wang S., Tang H. L., Al Turk L. I., et al. Localizing microaneurysms in fundus images through singular spectrum analysis // IEEE Trans. Biomed. Engineering, 2017, v.64(5), p.990–1002.
27. Yu S., Xiao D., Kanagasigam Y. Automatic detection of neovascularization on optic disk region with feature extraction and support vector machine / Proceedings of 38th Annual International Conf. of the IEEE Engineering in Med. and Biol. Society (EMBC)., August 2016, Orlando, FL, USA. p. p. 1324.
28. Roychowdhury S., Koozekanani D.D., Parhi K.K. DREAM: diabetic retinopathy analysis using machine learning // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2014, v.18(5), p.1717–1728.
29. El Tanboly A., Ismail M., Shalaby A. et al. A computer-aided diagnostic system for detecting diabetic retinopathy in optical coherence tomography images // Medical Physics, 2017, v.44(3), p.914–923.

30. Sandhu H.S., Eladawi N., Elmogy M. et al. Automated diabetic retinopathy detection using optical coherence tomography angiography: a pilot study // *Br. J. Ophthalmol.*, 2018, v.102(11), p.1564–1569.
31. Raju B., Raju N.S., Akkara J.D., Pathengay A. Do it yourself smartphone fundus camera DIY ret CAM // *Indian J. Ophthalmol.*, 2016, 64, p.663-667.
32. Chandrakanth P., Ravichandran R., Nischal N.G. et al. Trash to treasure retcam // *Indian J. Ophthalmol.*, 2019, v.67, p.541-544.
33. Sharma A., Subramaniam S.D., Ramachandran K.I. et al. Smartphone-based fundus camera device (MII ret cam) and technique with ability to image peripheral retina // *Eur. J. Ophthalmol.*, 2016, v.26, p.142-144.
34. Sosale B., Sosale A.R., Murthy H. et al. 51-OR: Medios – A smartphone-based artificial intelligence algorithm in screening for diabetic retinopathy // *Diabetes*, 2019, v.68(1), p.51.
35. Kapoor R., Whigham B.T., Al-Aswad LA. The role of artificial intelligence in the diagnosis and management of glaucoma // *Curr. Ophthalmol. Rep.*, 2019, v.7, p.136-42.
36. Zheng C., Johnson T.V., Garg A. et al. Artificial intelligence in glaucoma // *Curr. Opin. Ophthalmol.*, 2019, p.30, p.97-103.
37. Martin K.R., Mansouri K., Weinreb R.N. et al. Use of machine learning on contact lens sensor-derived parameters for the diagnosis of primary open-angle glaucoma // *Am. J. Ophthalmol.*, 2018, v.194, p.46-53.
38. Niwas S.I., Lin W., Bai X. et al. Automated anterior segment OCT image analysis for angle closure glaucoma mechanisms classification // *Comp. Meth. Prog. Biomed.*, 2016, v.130, p.65-75.
39. Li Z., He Y., Keel S. et al. Efficacy of a deep learning system for detecting glaucomatous optic neuropathy based on color fundus photographs // *Ophthalmol.*, 2018, v.125, p.1199-206.
40. Schmidt-Erfurth U., Bogunovic H., Sadeghipour A. et al. Machine learning to analyze the prognostic value of current imaging biomarkers in neovascular age-related macular degeneration // *Ophthalmol. Retina*, 2018, v.2, p.24-30.
41. Bogunovic H., Waldstein S.M., Schlegl T. et al. Prediction of anti-VEGF treatment requirements in neovascular AMD using a machine learning approach // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 2017, p.58, p.3240-3248.
42. P. Prahs, V. Radeck, C. Mayer et al., “OCT-based deep learning algorithm for the evaluation of treatment indication with anti-vascular endothelial growth factor medications // *Graefe’s Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2017, v. 256, p. 91–98.

43. M. Treder, J. L. Lauermann, and N. Eter, "Automated detection of exudative age-related macular degeneration in spectral domain optical coherence tomography using deep learning// Graefes' Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 2017 v. 256, p. 259–265.
44. Yang J.J., Li J., Shen R. et al. Exploiting ensemble learning for automatic cataract detection and grading // *Comp. Methods Prog. Biomed.*, 2016, p.124, p.45-57.
45. Zhang L., Li J., Zhang I. et al. Automatic cataract detection and grading using Deep Convolutional Neural Network. In: 2017 / IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2017, p.60-65.
46. Mohammadi S.F., Sabbaghi M., Z-Mehrjardi H. et al. Using artificial intelligence to predict the risk for posterior capsule opacification after phacoemulsification // *J. Cataract. Refract. Surg.*, 2012, v.38, p.403-408.
47. Liu X., Jiang J., Zhang K. et al. Localization and diagnosis framework for pediatric cataracts based on slit-lamp images using deep features of a convolutional neural network // *PLoS One*, 2017, p.12.
48. Long E., Lin H., Liu Z. et al. An artificial intelligence platform for the multihospital collaborative management of congenital cataracts // *Nat. Biomed. Eng.*, 2017, v.1, p.24.
49. Clarke G.P., Burmeister J. Comparison of intraocular lens computations using a neural network versus the Holladay formula // *J. Cataract. Refract. Surg.*, 1997, v.23, p.1585-1589.
50. Yarmahmoodi M., Arabalibeik H., Mokhtaran M. Intraocular lens power formula selection using support vector machines // *Front. Biomed. Technol.*, 2015, v.2, p.36-44.
51. Sramka M., Slovak M., Tuckova J. et al. Improving clinical refractive results of cataract surgery by machine learning // *Peer.*, 2019, v.7, p.7202.
52. Findl O., Struhal W., Dorffner G. et al. Analysis of nonlinear systems to estimate intraocular lens position after cataract surgery // *J. Cataract. Refract. Surg.*, 2004, v.30, p.863-866.
53. Hill W. Hill-RBF Calculator for IOL Power Calculations. Available from: <https://rbfcalculator.com/online/>.
54. Kane JX, Van Heerden A, Atik A, Petsoglou C. Accuracy of 3 new methods for intraocular lens power selection. *J Cataract Refract Surg* 2017, v. 43, p. 333-9.
55. Brown J.M., Campbell J.P., Beers A. et al. Fully automated disease severity assessment and treatment monitoring in retinopathy of prematurity using deep learning // In: *Medical Imaging 2018: Imaging Informatics for Healthcare, Research, and Applications*. International Society for Optics and Photonics., 2018. p.105790 Q.
56. Brown J.M., Campbell J.P., Beers A. et al. Automated diagnosis of plus disease in retinopathy of prematurity using deep convolutional neural networks // *JAMA Ophthalmol.*, 2018, v.136, p.803-810.

57. Saad A., Gatinel D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 2010, v.51, p.5546-5555.
58. Kovács I., Miháltz K., Kránitz K. et al. Accuracy of machine learning classifiers using bilateral data from a Scheimpflug camera for identifying eyes with preclinical signs of keratoconus // J. Cataract. Refract. Surg., 2016, v.42, p.275-283.
59. Klyce S.D. The future of keratoconus screening with artificial intelligence // Ophthalmology, 2018, v.125, p.1872-1873.
60. Huseynli S., Abdulaliyeva F. Evaluation of Scheimpflug Tomography Parameters in Subclinical Keratoconus, Clinical Keratoconus and Normal Caucasian Eyes // Turk. J. Ophthalmol., 2018, v.48(3), p.99-108
61. Qasimov E.M., Huseynli S.F. Azərbaycan populyasiyasında keratokonusun erkən diaqnostikasında Şeympfyuq tomoqraf parametrlərinin süni intellekt əsasında – maşın öyrənmə modelinin hazırlanmasının ilkin nəticələri. // Akademik Zərifə Əliyeva adına Milli Oftalmologiya Mərkəzinin 10 illiyinə həsr olunan “Oftalmologiyanın bu günü və gələcəyi” adlı konfransın materialları, Bakı, 24 may 2019., s.27-30.
62. Ambrósio R.Jr., Lopes B.T., Faria-Correia F. et al. Integration of Scheimpflug-based corneal tomography and biomechanical assessments for enhancing ectasia detection // J. Refract. Surg., 2017, v.33, p.434-443.
63. Choi J. Y., Yoo T. K., Seo J. G. et al. Multi-categorical deep learning neural network to classify retinal images: a pilot study employing small database // PLoS One. 2017, v.12(11).

Müəllif münafiqələrin (maliyyə, şəxsi, peşəkar və digər maraqları) olmamasını təsdiqləyir

Korrespondensiya üçün:

Hüseynli Samirə Fərhad qızı, akad. Zərifə Əliyeva adına Milli Oftalmologiya Mərkəzinin kiçik elmi işçisi
samirahuseynli@yahoo.com