UDK: 617.741-007.64:617.713-089

PROGRESSIV KERATOKONUSDA ERTA DIAGNOSTIKA, SUN'IY INTELLEKT ASOSIDAGI PROGNOZLASH VA ZAMONAVIY DAVOLASH STRATEGIYALARI

Ismatov Xusan Akmalovich
Samarqand Zarmed Universiteti
Davolash ishi fakulteti talabasi

Ismatova Umida Foziljon qizi
Samarqand Zarmed Universiteti
Davolash ishi fakultei talabasi

Ilmiy rahbarlar: Biologiya, Mikrabiologiya va Bioinjeneriya kafedrasi mudiri
PhD, dotsent **Shaykulov Hamza Shodiyevich**
Jarrohlik fanlari kafedrasi o'qituvchisi
PhD vb dotsent **Maxmudov Saidinjon Botirovich**
https://doi.org/10.5281/zenodo.22723801

Annotatsiya: Progressiv keratokonus butun dunyoda yoshlar orasida ko'rish qobiliyatining pasayishiga olib keluvchi eng muhim ektatik korneal kasalliklardan biri hisoblanadi. Kasallikning erta bosqichlarida klinik belgilar deyarli namoyon bo'lmasligi sababli, uni o'z vaqtida aniqlash zamonaviy oftalmologiyaning dolzarb muammolaridan biri bo'lib qolmoqda. Ushbu maqolada progressiv keratokonusning epidemiologiyasi, etiopatogenezi, molekulyar mexanizmlari, zamonaviy diagnostik usullari hamda sun'iy intellekt asosidagi prognozlash tizimlari tahlil qilindi. Pentacam tomografiyasi, korneal biomekanik tahlil (Corvis ST), optik koherent tomografiya (OCT) va Scheimpflug tasvirlash texnologiyalarining diagnostik imkoniyatlari baholandi. Shuningdek, korneal kollagen kross-linking (CXL), intracorneal ring segmentlari (ICRS), topografiya nazoratidagi fotorefraktiv keratektomiya (TG-PRK), Bowman qavati transplantatsiyasi va keratoplastikaning klinik samaradorligi xalqaro ilmiy tadqiqotlar asosida tahlil qilindi. Maqolada sun'iy intellekt algoritmlarining keratokonusni subklinik bosqichda aniqlashdagi istiqbollari ham yoritilgan.
Kalit so'zlar: keratokonus, kornea, ektaziya, Pentacam, OCT, Corvis ST, sun'iy intellekt, CXL, keratoplastika, korneal biomekanika.

Abstract: Progressive keratoconus is one of the leading ectatic corneal disorders causing visual impairment in adolescents and young adults worldwide. Due to its asymptomatic onset, early diagnosis remains a major challenge in modern ophthalmology. This article reviews the epidemiology, molecular pathogenesis, advanced diagnostic technologies, and artificial intelligence-based predictive models for progressive keratoconus. The diagnostic value of Scheimpflug tomography, Pentacam imaging, corneal biomechanics (Corvis ST), and anterior segment optical coherence tomography is discussed. Contemporary treatment approaches, including corneal collagen cross-linking, intracorneal ring segments, topography-guided photorefractive keratectomy, Bowman layer transplantation, and keratoplasty, are analyzed according to recent international clinical studies.
Keywords: keratoconus, corneal ectasia, Pentacam, OCT, corneal biomechanics, artificial intelligence, collagen cross-linking, keratoplasty.

Аннотация: Прогрессирующий кератоконус является одним из наиболее значимых эктазийных заболеваний роговицы, приводящих к снижению зрения у молодых пациентов. В статье представлены современные сведения об эпидемиологии, патогенезе, методах ранней диагностики и лечения прогрессирующего кератоконуса. Рассмотрены возможности томографии Pentacam, оптической когерентной томографии, анализа биомеханики роговицы (Corvis ST), а

также алгоритмов искусственного интеллекта для раннего выявления заболевания. Проведен анализ современных методов лечения, включая кросслинкинг роговицы, интрастромальные роговичные сегменты, топографически ориентированную ФРК, трансплантацию слоя Боумена и кератопластику.

Ключевые слова: кератоконус, роговица, эктазия, Pentacam, OCT, Corvis ST, искусственный интеллект, кросслинкинг, кератопластика.

Kirish: Kornea ko'zning asosiy optik muhitlaridan biri bo'lib, uning shaffofligi, sferik shakli va biomekanik mustahkamligi yuqori sifatli ko'rishni ta'minlaydi. Ushbu tuzilmaning har qanday strukturaviy o'zgarishi yorug'lik nurlarining sinishiga salbiy ta'sir ko'rsatib, ko'rish o'tkirligining pasayishiga olib keladi. Korneal ektaziyalar ichida **keratokonus** eng ko'p uchraydigan va klinik jihatdan eng muhim patologiyalardan biri hisoblanadi.

Keratokonus — bu korneaning progressiv yupqalashishi, oldinga konussimon bo'rtib chiqishi va notekis astigmatizm rivojlanishi bilan tavsiflanuvchi degenerativ kasallikdir. Kasallik odatda o'smirlik davrida boshlanadi va 20–30 yosh oralig'ida faol rivojlanadi. Erta tashxis qo'yilmagan bemorlarda korneal deformatsiya kuchayib boradi, ko'rish sifati keskin pasayadi va oxirgi bosqichlarda keratoplastika zarurati tug'ilishi mumkin.

So'nggi o'n yilliklarda keratokonusning tarqalishi ilgari hisoblanganidan ancha yuqori ekani aniqlandi. Zamonaviy tomografik texnologiyalar va skrining dasturlarining keng qo'llanilishi natijasida subklinik shakllar ham aniqlanmoqda. Ayrim populyatsiyalarda kasallikning uchrash chastotasi **100 000 aholiga 50–265 nafar**ni tashkil etishi, Yaqin Sharq va Janubiy Osiyo mamlakatlarida esa bundan ham yuqori ko'rsatkichlar qayd etilgani haqida ma'lumotlar mavjud.

Bugungi kunda keratokonus etiologiyasi multifaktorial deb qaraladi. Genetik moyillik, oksidlovchi stress, kollagen tolalarining qayta tuzilishi, proteolitik fermentlar faolligining ortishi va surunkali mexanik ta'sir (masalan, ko'zni tez-tez ishqalash) kasallik rivojlanishida muhim rol o'ynaydi. Shu sababli diagnostika nafaqat kornea qalinligini, balki uning biomekanik xususiyatlarini va mikrotuzilishini ham baholashni talab qiladi.

Zamonaviy oftalmologiyada Pentacam HR, Corvis ST, anterior segment OCT va sun'iy intellekt asosidagi tahlil tizimlari progressiv keratokonusni klinik belgilar paydo bo'lishidan oldin aniqlash imkonini bermoqda. Ayniqsa, mashinaviy o'qitish algoritmlari korneal topografiya va tomografiya ma'lumotlarini kompleks baholab, subklinik keratokonusni yuqori aniqlik bilan aniqlashga xizmat qilmoqda.

Kasallikni erta bosqichda aniqlash davolash strategiyasini tubdan o'zgartiradi. Corneal Collagen Cross-Linking (CXL) usuli yordamida korneaning biomekanik mustahkamligini oshirish va kasallik progressiyasini to'xtatish mumkin. Shu bilan birga, intracorneal ring segmentlari, topografiya nazoratidagi fotorefraktiv keratektomiya, Bowman qavati transplantatsiyasi va zamonaviy keratoplastika usullari og'ir bosqichdagi bemorlarning ko'rish funksiyasini sezilarli yaxshilash imkonini bermoqda.

Shu bois progressiv keratokonusni erta aniqlash, uning rivojlanishini prognoz qilish va individual davolash algoritmlarini takomillashtirish zamonaviy oftalmologiyaning eng dolzarb ilmiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Tadqiqotning maqsadi: Progressiv keratokonusning zamonaviy etiopatogenetik mexanizmlarini, erta diagnostika usullarini hamda sun'iy intellekt asosidagi prognozlash tizimlarining klinik samaradorligini xalqaro ilmiy ma'lumotlar asosida tahlil qilish va zamonaviy davolash strategiyalarining afzalliklarini baholash. Tadqiqot vazifalari: Progressiv keratokonus epidemiologiyasini tahlil qilish, Kasallikning molekulyar va biomekanik patogenezini o'rganish, Pentacam, Corvis ST va OCT diagnostikasining imkoniyatlarini baholash, Sun'iy intellekt asosidagi diagnostik algoritmlarning samaradorligini tahlil qilish, Corneal Cross-Linking va boshqa zamonaviy davolash usullarini taqqoslash, Erta tashxis va davolashning klinik natijalarga ta'sirini baholash.

Tadqiqot materiallari va metodlari: Mazkur maqola 2020–2025-yillarda **PubMed**, **Scopus**, **Web of Science**, **Cochrane Library**, **American Academy of Ophthalmology (AAO)** va **European Society of Cataract and Refractive Surgeons (ESCRS)** bazalarida e'lon qilingan ilmiy maqolalar, tizimli sharhlar va klinik tavsiyalarni tahlil qilish asosida tayyorlandi.

Adabiyotlarni qidirishda quyidagi kalit so'zlardan foydalanildi: Progressive keratoconus, Corneal ectasia, Corneal collagen cross-linking, Pentacam, Corvis ST, Artificial intelligence in keratoconus, Corneal biomechanics, Keratoplasty. Tanlangan maqolalar ilmiy sifati, klinik ishonchliligi va xalqaro tavsiyalarga muvofiqligi bo'yicha baholandi.

Epidemiologiya: Keratokonus dunyo bo'yicha eng ko'p uchraydigan korneal ektatik kasalliklardan biri hisoblanadi. So'nggi yillardagi yuqori aniqlikdagi tomografik tekshiruvlar tufayli kasallikning haqiqiy tarqalishi ilgari hisoblanganidan yuqoriroq ekani aniqlandi.

Aholi orasida uchrash chastotasi geografik hudud, etnik guruh va diagnostika mezonlariga qarab sezilarli farq qiladi. Yaqin Sharq, Hindiston va Janubiy Osiyo mamlakatlarida kasallikning tarqalishi Yevropa davlatlariga nisbatan yuqoriroq ekani qayd etilgan.

Kasallik ko'pincha **12–25 yosh** oralig'ida boshlanadi va dastlabki 10–15 yil davomida faol progressiya kuzatiladi. Aynan shu davrda korneaning yupqalashishi va notekis astigmatizm tez rivojlanadi.

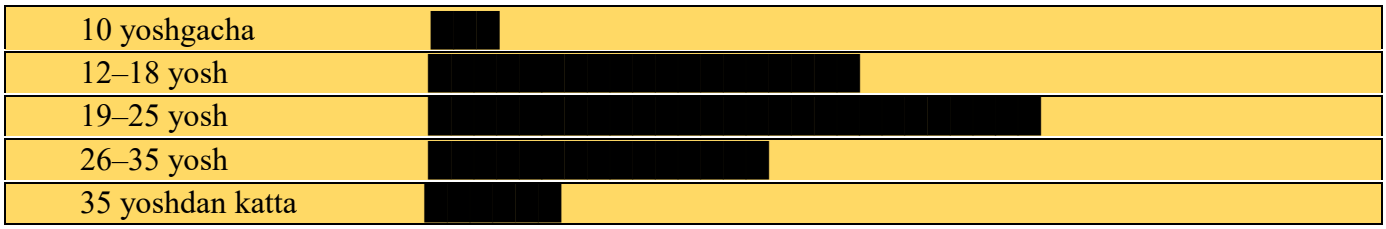
Jadval 1

Progressiv keratokonusning xalqaro epidemiologik ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Natija
Umumiy tarqalishi	0,2–0,5 %
Yosh boshlanishi	12–25 yosh
Erkaklar ulushi	52–58 %
Ikkala ko'z zararlanishi	85–95 %
Oilaviy anamnez mavjudligi	10–20 %
Keratoplastikaga ehtiyoj	10–20 % (og'ir bosqichlarda)

Diagramma 1

Keratokonus uchrashining yosh bo'yicha taqsimlanishi



Etiologiya va molekulyar patogenez: Progressiv keratokonus multifaktorial kasallik bo'lib, uning rivojlanishida genetik, biokimyoviy, immunologik va mexanik omillar o'zaro bog'liq holda ishtirok etadi.

Asosiy etiologik omillar: genetik moyillik, kollagen tolalari sintezining buzilishi, oksidlovchi stressning kuchayishi, matrix metalloproteinazalar (MMP-9) faolligining ortishi, antioksidant fermentlar faolligining pasayishi, ko'zni surunkali ishqalash, allergik kon'yunktivit, atopik kasalliklar. Ilmiy tadqiqotlar korneada reaktiv kislorod radikallari ko'payishi natijasida stromal kollagen tolalarining degradatsiyasi yuz berishini ko'rsatmoqda. Bu jarayon korneaning biomekanik mustahkamligini kamaytirib, uning oldinga bo'rtib chiqishiga sabab bo'ladi.

So'nggi yillarda **LOX**, **VSX1**, **MIR184**, **ZNF469** va **COL5A1** genlaridagi ayrim o'zgarishlar keratokonus rivojlanishi bilan bog'liqligi haqida ma'lumotlar e'lon qilingan.

Diagramma 2

Keratokonus rivojlanishining molekulyar mexanizmi

Genetik moyillik
↓
Oksidlovchi stress ↑
↓
MMP fermentlari ↑
↓
Kollagen degradatsiyasi
↓
Kornea yupqalashishi
↓
Biomekanik zaiflashish
↓
Keratokonus progressiyasi

Klinik bosqichlari. Kasallik odatda sekin rivojlanadi va dastlab bemorlar ko'zoynak bilan ham to'liq tuzalmaslikdan shikoyat qiladi. Keyinchalik notekis astigmatizm kuchayadi, ko'rish sifati pasayadi, tungi ko'rishda halo va yorug'lik tarqalishi kuzatiladi.

Jadval 2

Bosqich	Klinik belgilar	Pentacam topilmalari
I	Yengil miopiya, astigmatizm	Minimal ektaziya
II	Ko'rish pasayishi	Kornea qiyaligining ortishi
III	Notekis astigmatizm	Yupqalashish va konussimon deformatsiya
IV	Chandiqlanish, keskin ko'rish pasayishi	Og'ir ektaziya, markaziy stromal o'zgarishlar

Zamonaviy diagnostika usullari. Progressiv keratokonusni erta aniqlash bemorning ko'rish funksiyasini saqlab qolishda hal qiluvchi ahamiyatga ega. An'anaviy biomikroskopiya va keratometriya dastlabki bosqichdagi o'zgarishlarni aniqlash uchun yetarli emas. Shu sababli bugungi kunda Scheimpflug tomografiyasi, optik koherent tomografiya (AS-OCT), korneal biomekanik tahlil va sun'iy intellekt asosidagi algoritmlar keng qo'llanilmoqda.

1. Pentacam HR (Scheimpflug Tomography)

Pentacam HR korneaning old va orqa yuzasi, pachimetriya xaritasi, elevatsiya indekslari va Belin–Ambrósio Enhanced Ectasia Display (BAD-D) ko'rsatkichlarini yuqori aniqlikda baholaydi. Subklinik keratokonusni aniqlashda eng ishonchli usullardan biri hisoblanadi.

2. Corvis ST

Corvis ST havo impulsi ta'sirida korneaning deformatsiyasini ultra yuqori tezlikdagi kamera yordamida qayd etadi va uning biomekanik mustahkamligini baholaydi. Bu usul klinik belgilar yuzaga kelishidan oldin korneal zaiflikni aniqlash imkonini beradi.

3. Old segment OCT

Anterior Segment Optical Coherence Tomography (AS-OCT) kornea qatlamlarini mikron darajasida tasvirlaydi. Bu usul Bowman qavati, epiteliy qalinligi va stromal o'zgarishlarni aniqlashda muhim ahamiyatga ega.

4. Sun'iy intellekt (Artificial Intelligence)

So'nggi yillarda mashinaviy o'qitish (Machine Learning) va chuqur o'qitish (Deep Learning) algoritmlari Pentacam, OCT va korneal topografiya ma'lumotlarini avtomatik tahlil qilib, subklinik keratokonusni **95–98 % diagnostik aniqlik** bilan aniqlash imkonini bermoqda.

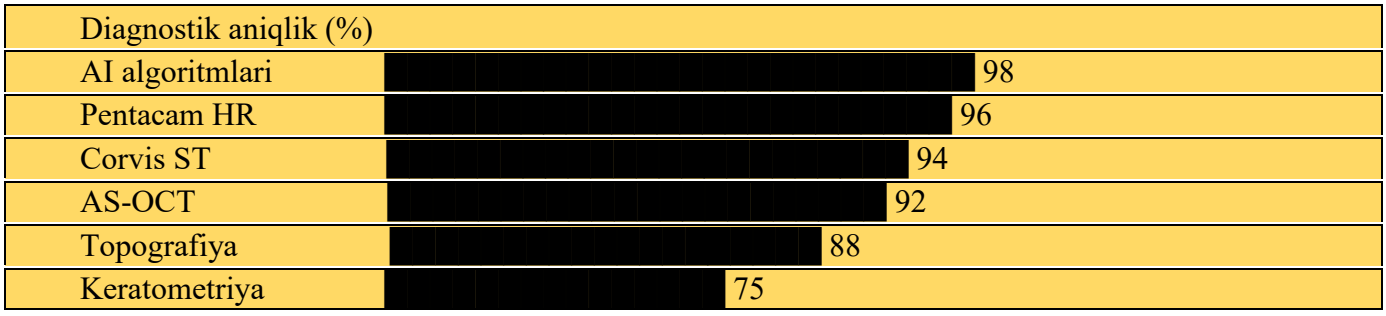
Jadval 3

Zamonaviy diagnostik usullarni taqqoslash

Diagnostik usul	Baholanadigan parametr	Afzalligi	Cheklanishi
Keratometriya	Kornea egriligi	Oddiy va tez	Erta bosqichni aniqlamaydi
Topografiya	Old yuzasi	Astigmatizmni baholaydi	Orqa yuzani ko'rsatmaydi
Pentacam HR	3D tomografiya	Erta tashxis uchun yuqori aniqlik	Qimmat uskunalar talab etadi
Corvis ST	Biomekanika	Progressiyani baholaydi	Har doim ham mavjud emas
AS-OCT	Kornea qatlamlari	Yuqori rezolyutsiya	Narxi yuqori
AI algoritmlari	Kompleks tahlil	Juda yuqori aniqlik	Katta ma'lumotlar bazasi kerak

Diagramma 3

Zamonaviy diagnostika usullarining aniqlik darajasi



Davolashning zamonaviy strategiyalari. Progressiv keratokonusni davolashning asosiy maqsadi kasallik progressiyasini to'xtatish, kornea shaklini maksimal darajada saqlash va ko'rish o'tkirligini yaxshilashdan iborat.

Bugungi kunda davolash algoritmi kasallik bosqichi, kornea qalinligi va bemorning yoshiga qarab individual tanlanadi.

Corneal Collagen Cross-Linking (CXL)

Riboflavin va ultrabinafsha A nurlari yordamida kollagen tolalari o'rtasida yangi bog'lanishlar hosil qilinadi. Natijada korneaning biomekanik mustahkamligi oshadi va ektaziya progressiyasi sekinlashadi yoki to'xtaydi.

Ko'p markazli xalqaro tadqiqotlar CXL qo'llangan bemorlarning **90–95 %** ida kasallik progressiyasi to'xtaganini ko'rsatgan.

Intracorneal Ring Segments (ICRS)

Ferrara va Keraring implantlari kornea shaklini tekislaydi, notekis astigmatizmni kamaytiradi va kontakt linzalarga tolerantlikni oshiradi.

Topography-guided PRK + CXL

Topografiya nazoratidagi fotorefraktiv keratektomiya Cross-Linking bilan birgalikda bajarilganda ko'rish sifati yanada yaxshilanadi.

Bowman Layer Transplantation

Og'ir bosqichdagi bemorlarda kornea deformatsiyasini sekinlashtirish va keratoplastikani kechiktirish uchun qo'llaniladi.

DALK va Penetratsion Keratoplastika

Kornea chandiqlanishi yoki juda og'ir ektaziya kuzatilganda chuqur old lamellyar keratoplastika (DALK) yoki penetratsion keratoplastika amalga oshiriladi.

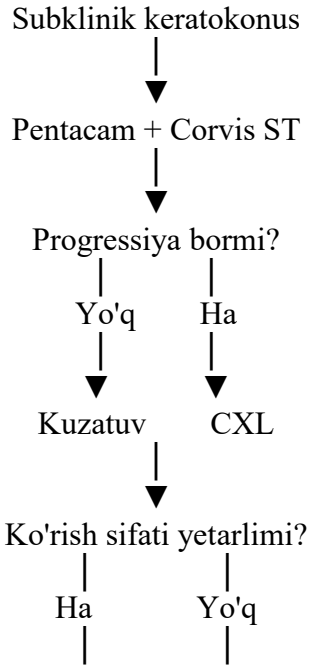
Jadval 4

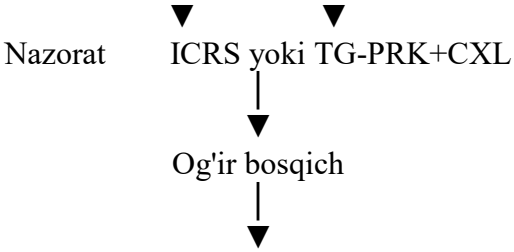
Zamonaviy davolash usullarining samaradorligi

Davolash usuli	Progressiyani to'xtatish	Ko'rishni yaxshilash	Qo'llanilish bosqichi
Ko'zoynak	★	★★	Erta
Qattiq gaz o'tkazuvchi linza	★★	★★★★	I–II
CXL	★★★★★	★★★	I–III
ICRS	★★★★	★★★★★	II–III
TG-PRK + CXL	★★★★★	★★★★★	II
DALK	★★★★★	★★★★★	III–IV
Penetratsion keratoplastika	★★★★★	★★★★★	IV

Diagramma 4

Keratokonusni davolash algoritmi





Sun'iy intellekt va raqamli texnologiyalarning keratokonus diagnostikasidagi o'rni. So'nggi besh yil ichida sun'iy intellekt (Artificial Intelligence, AI) va chuqur o'rganish (Deep Learning) algoritmlarining oftalmologiyaga joriy etilishi progressiv keratokonusni erta bosqichlarda aniqlash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Ayniqsa, Pentacam HR, Corvis ST va old segment OCT orqali olingan minglab biometrik parametrlarni kompleks tahlil qilish inson ko'zi bilan sezilishi qiyin bo'lgan minimal ektatik o'zgarishlarni aniqlashga yordam bermoqda.

Deep learning algoritmlari millionlab tasvirlar asosida o'qitilgach, ular subklinik keratokonusni sog'lom korneadan 95–99 % aniqlik bilan farqlay olishi ko'rsatilgan. Bu refraktiv jarrohlik oldidan xavf guruhidagi bemorlarni aniqlash va iatrogen korneal ektaziyaning oldini olishda muhim ahamiyatga ega.

Kelajakda AI texnologiyalari elektron tibbiy kartalar, genomik ma'lumotlar va real vaqt biometrik o'lchovlari bilan integratsiyalashib, individual xavf prognozini tuzish imkonini beradi.

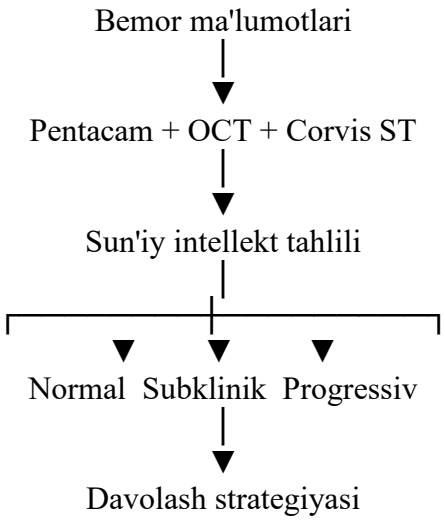
Jadval 5

Sun'iy intellekt algoritmlarining diagnostik samaradorligi

AI modeli	Ma'lumot manbai	Diagnostik aniqlik (%)	Qo'llanilishi
CNN (Convolutional Neural Network)	Pentacam	98	Subklinik keratokonus
Random Forest	Corvis ST	95	Progressiyani baholash
Support Vector Machine	Topografiya	94	Skrining
Deep Learning Hybrid Model	OCT + Pentacam	99	Erta tashxis
Ensemble AI	Multimodal tasvirlar	98	Klinik qaror qabul qilish

Diagramma 5

AI yordamida tashxis qo'yishning umumiy algoritmi



KLINIK MUHOKAMA: Keratokonusning klinik kechishi bemordan bemorga sezilarli darajada farq qiladi. Kasallikning progressiya tezligi yosh, irsiy moyillik, kornea biomekanikasi va tashqi omillarga bog'liq. Yosh bemorlarda kollagen tolalarining strukturaviy zaifligi tufayli progressiya odatda tezroq kechadi.

Bugungi kunda Pentacam tomografiyasi va Corvis ST biomekanik tahlili birgalikda qo'llanganda diagnostik sezgirlik va xoslik sezilarli oshadi. Ayniqsa, Belin–Ambrósio Enhanced Ectasia Display (BAD-D) indeksi subklinik keratokonusni aniqlashda muhim ko'rsatkich sifatida e'tirof etiladi.

Xalqaro klinik tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, korneal kollagen cross-linking (CXL) kasallik progressiyasini 90 % dan ortiq bemorlarda to'xtatadi va keratoplastikaga bo'lgan ehtiyojni kamaytiradi. Shu sababli zamonaviy klinik tavsiyalarda progressiya belgilari aniqlanishi bilan CXLni imkon qadar erta o'tkazish tavsiya etiladi.

Jadval 6

Turli davolash usullarining klinik natijalari

Usul	**Ko'rish o'tkirligini yaxshilashi**	**Progressiyani to'xtatishi**	**Asoratlar xavfi**
Ko'zoynak	++	–	Juda past
Qattiq gaz o'tkazuvchi linzalar	+++	–	Past
CXL	+++	+++++	Past
ICRS	++++	++++	O'rtacha
TG-PRK + CXL	+++++	+++++	O'rtacha
DALK	+++++	+++++	O'rtacha
Penetratsion keratoplastika	+++++	+++++	Yuqori

Diagramma 6

Davolash usullarining umumiy samaradorligi
TG-PRK + CXL
DALK
Penetratsion KP
CXL
ICRS
Kontakt linza
Ko'zoynak

Istiqbolli yo'nalishlar. Kelgusida progressiv keratokonusni davolash quyidagi innovatsion yo'nalishlar bilan yanada rivojlanishi kutilmoqda: sun'iy intellekt asosidagi individual prognozlash, genomik va proteomik markerlar orqali xavfni baholash, bioinjenerlik asosidagi sun'iy kornea implantlari, 3D-bioprinting texnologiyasi yordamida kornea to'qimasini yaratish, regenerativ hujayra terapiyasi va mezenximal ildiz hujayralaridan foydalanish, nanozarrachalar asosidagi dori yetkazib berish tizimlari. Bu texnologiyalar kelajakda keratokonusni erta aniqlash, kasallik rivojlanishini oldini olish va bemorlarning hayot sifatini yaxshilashga xizmat qilishi mumkin.

Xulosa: Progressiv keratokonus zamonaviy oftalmologiyaning eng dolzarb va murakkab korneal ektatik kasalliklaridan biri bo'lib, u asosan o'smirlar va yoshlar orasida uchraydi hamda o'z vaqtida tashxis qo'yilmagan hollarda ko'rish qobiliyatining qaytarilmas darajada pasayishiga olib kelishi mumkin. So'nggi yillarda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar kasallikning rivojlanishida genetik moyillik, oksidlovchi stress, korneal kollagen tolalarining strukturaviy buzilishi, matrix metalloproteinazalar faolligining ortishi hamda tashqi muhit omillari o'zaro bog'liq holda ishtirok etishini ko'rsatmoqda. Bu esa keratokonusni faqat anatomik emas, balki molekulyar va biomekanik kasallik sifatida ham baholash zarurligini tasdiqlaydi.

Maqolada tahlil qilingan zamonaviy ilmiy manbalar Pentacam HR, Corvis ST, old segment optik koherent tomografiyasi (AS-OCT) va Scheimpflug tomografiyasi kasallikni erta bosqichda aniqlashning eng ishonchli usullari ekanini ko'rsatdi. Ayniqsa, Belin–Ambrósio Enhanced Ectasia Display (BAD-D) va korneal biomekanik indekslar subklinik keratokonusni klinik belgilar paydo bo'lishidan oldin aniqlash imkonini beradi. Sun'iy intellekt asosidagi diagnostik algoritmlar esa Pentacam va OCT ma'lumotlarini kompleks tahlil qilish orqali 95–99 % gacha diagnostik aniqlikka erishayotgani qayd etilgan.

Davolash usullarining tahlili shuni ko'rsatdiki, korneal kollagen cross-linking (CXL) progressiv keratokonusni davolashda "oltin standart" hisoblanadi. Xalqaro klinik tadqiqotlarga ko'ra, CXL qo'llanilgan bemorlarning aksariyatida kasallik progressiyasi to'xtaydi va keratoplastikaga ehtiyoj sezilarli kamayadi. Intrastromal korneal halqa segmentlari (ICRS), topografiya nazoratidagi fotorefraktiv keratektomiya (TG-PRK), Bowman qavati transplantatsiyasi hamda chuqur old lamellyar keratoplastika (DALK) og'ir bosqichdagi bemorlarda ko'rish funksiyasini yaxshilashda yuqori samaradorlik ko'rsatadi.

Sun'iy intellekt, genomika, regenerativ tibbiyot va bioinjeneriya yo'nalishlarining jadal rivojlanishi kelgusida keratokonusni individual xavf asosida prognozlash, shaxsiylashtirilgan davolash algoritmlarini ishlab chiqish va kornea transplantatsiyasiga ehtiyojni yanada kamaytirishga xizmat qilishi kutilmoqda. Ayniqsa, mashinaviy o'qitish algoritmlarining klinik amaliyotga keng joriy etilishi oftalmologik skrining sifatini oshirib, kasallikni erta aniqlash imkoniyatlarini kengaytiradi.

Shunday qilib, progressiv keratokonusni muvaffaqiyatli boshqarishning asosiy omillari – erta tashxis, zamonaviy instrumental diagnostika, korneal biomekanikani baholash, o'z vaqtida korneal kollagen cross-linkingni qo'llash va individual davolash strategiyasini tanlashdan iborat. Mazkur maqolada umumlashtirilgan ilmiy ma'lumotlar oftalmologlar, rezidentlar, ilmiy tadqiqotchilar hamda tibbiyot oliygohlari talabalari uchun amaliy va nazariy jihatdan muhim manba bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Gomes JAP, Tan D, Rapuano CJ, et al. **Global Consensus on Keratoconus and Ectatic Diseases.** Cornea. 2015;34(4):359–369. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000408. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25738235/
2. Godefrooij DA, de Wit GA, Uiterwaal CS, et al. **Age-specific Incidence and Prevalence of Keratoconus.** American Journal of Ophthalmology. 2017. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.12.015 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28012853/
3. Ambrosio R Jr, Belin MW. **Enhanced Ectasia Display for Early Detection of Keratoconus.** https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/
4. Rabinowitz YS. **Keratoconus.** Survey of Ophthalmology. DOI: 10.1016/S0039-6257(98)00019-7 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9862659/
5. Sriranganathan A, Chan CC, et al. **Global Incidence and Prevalence of Keratoconus: Systematic Review and Meta-analysis.** Cornea. 2025. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40833011/

6. Deshmukh R, Ong HS, Rampat R, et al. **Management of Keratoconus: An Updated Review.** https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37409272/
7. Goodman DG, Zhu AY, et al. **Artificial Intelligence in Keratoconus Diagnosis.** https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fopht.2024.1380701/full
8. Raiskup F, Spoerl E. **Corneal Cross-Linking with Riboflavin and Ultraviolet-A.** https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18535610/
9. Hersh PS, Stulting RD, Muller D, et al. **U.S. Multicenter Clinical Trial of Corneal Cross-Linking.** https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27096324/
10. Kymionis GD, et al. **Long-term Results of Corneal Cross-Linking.** https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/
11. Duncan JK, Belin MW, Borgstrom M. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/
12. Ambrósio R Jr. **Tomographic and Biomechanical Screening of Keratoconus.** https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/
13. Li X, Yang H, Rabinowitz YS. **Genetics of Keratoconus.** https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/
14. **American Academy of Ophthalmology (AAO).** https://www.aao.org
15. **European Society of Cataract and Refractive Surgeons (ESCRS).** https://www.escrs.org
16. **National Eye Institute (NEI).** https://www.nei.nih.gov
17. **PubMed Database.** https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
18. **Scopus Database.** https://www.scopus.com
19. **Web of Science.** https://www.webofscience.com
20. **Cochrane Library.** https://www.cochranelibrary.com
21. **EyeWiki – Keratoconus.** https://eyewiki.org/Keratoconus
22. **American Society of Cataract and Refractive Surgery (ASCRS).** https://ascrs.org
23. **Cornea Society.** https://corneasociety.org
24. **StatPearls – Keratoconus.** https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470435/
25. **Orphanet – Keratoconus.** https://www.orpha.net
26. **ClinicalTrials.gov – Keratoconus Studies.** https://clinicaltrials.gov
27. **European Journal of Ophthalmology.** https://journals.sagepub.com/home/ejo
28. **Investigative Ophthalmology & Visual Science (IOVS).** https://iovs.arvojournals.org
29. **British Journal of Ophthalmology.** https://bjo.bmj.com
30. **Nature Reviews Disease Primers.** https://www.nature.com/nrdp