

METABOLIK SINDROM BILAN BOG'LIQ RETINAL O'ZGARISHLARDA OKT VA OKT-ANGIOGRAFIYA BIOMARKERLARI: ADABIYOTLAR SHARHI

Xuddiyeva N.Yu.

PhD, Oftalmologiya kafedrası katta o'qituvchisi, Abu Ali ibn Sino nomidagi Buxoro davlat tibbiyot instituti, xuddiyevan@gmail.com, +998(91)2404949, <https://orcid.org/0009-0006-4217-7826>

Annotatsiya. Dolzarbligi. Metabolik sindrom retinal mikrotsirkulyatsiya va neyoretinal tuzilmalarda subklinik o'zgarishlar rivojlanishiga olib keluvchi muhim metabolik buzilishlardan biridir. Optik kogerent tomografiya (OKT) va OKT-angiografiya (OKT-A) ushbu o'zgarishlarni erta aniqlash imkonini beradi. **Tadqiqot maqsadi.** Metabolik sindrom bilan bog'liq to'r parda o'zgarishlarda OKT va OKT-A biomarkerlarining diagnostik ahamiyatini tahlil qilish. **Material va usullar.** PubMed, Scopus, Web of Science va Google Scholar bazalarida 2020–2026-yillarda chop etilgan ilmiy maqolalar tahlil qilindi. **Natijalar va xulosa.** Metabolik sindromda makulyar qalinlikning kamayishi, retinal nerv tolalari qavati yupqalashuvi, kapillyar zichlikning pasayishi hamda foveal avaskulyar zonaning kengayishi asosiy biomarkerlar sifatida aniqlandi. OKT va OKTA metabolik retinopatiyani erta tashxislash va prognozlashda yuqori diagnostik ahamiyatga ega noinvaziv usullar hisoblanadi.

Kalit so'zlar: metabolik sindrom, OKT, OKT-angiografiya, retinal biomarkerlar, metabolik retinopatiya.

Iqtibos keltirish uchun:

Xuddiyeva N.Yu. Metabolik sindrom bilan bog'liq retinal o'zgarishlarda OKT va OKT-Angiografiya biomarkerlari: adabiyotlar sharhi. Ilg'or oftalmologiya. 2026;17(2):21-27.

БИОМАРКЕРЫ ОКТ И ОКТ-АНГИОГРАФИИ ПРИ РЕТИНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ, АССОЦИИРОВАННЫХ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Худдиева Н.Ю.

PhD, старший преподаватель кафедры Офтальмологии, Бухарский государственный медицинский институт имени Абу Али ибн Сино, xuddiyevan@gmail.com, +998(91)2404949, <https://orcid.org/0009-0006-4217-7826>

Аннотация. Актуальность. Метаболический синдром является одним из важных метаболических нарушений, приводящих к развитию субклинических изменений в ретинальной микроциркуляции и нейроретинальных структурах. Оптическая когерентная томография (ОКТ) и ОКТ-ангиография (ОКТ-А) позволяют выявлять данные изменения на ранних стадиях. **Цель исследования.** Провести анализ диагностической значимости биомаркеров ОКТ и ОКТ-А при ретинальных изменениях, ассоциированных с метаболическим синдромом. **Материал и методы исследования.** Проведен анализ научных публикаций, опубликованных в 2020–2026 годах и индексируемых в базах PubMed, Scopus, Web of Science и Google Scholar. **Результаты и заключение.** Установлено, что при метаболическом синдроме основными биомаркерами являются уменьшение макулярной толщины, истончение слоя нервных волокон сетчатки, снижение капиллярной плотности и расширение фовеальной аваскулярной зоны. ОКТ и ОКТ-А являются высокоинформативными неинвазивными методами ранней диагностики и прогнозирования метаболической ретинопатии.

Ключевые слова: метаболический синдром, ОКТ, ОКТ-ангиография, ретинальные биомаркеры, метаболическая ретинопатия.

Для цитирования:

Худдиева Н.Ю. Биомаркеры ОКТ и ОКТ-ангиографии при ретинальных изменениях, ассоциированных с метаболическим синдромом: обзор литературы. Передовая офтальмология. 2026;17(2):21-27.

OCT AND OCT-ANGIOGRAPHY BIOMARKERS IN METABOLIC SYNDROME-ASSOCIATED RETINAL CHANGES: A LITERATURE REVIEW

Khuddiyeva N.Yu.

1 PhD, Senior Lecturer of the Department of Ophthalmology, Abu Ali ibn Sino Bukhara State Medical Institute, khuddiyevan@gmail.com, +998(91)2404949, <https://orcid.org/0009-0006-4217-7826>

Abstract. Background. Metabolic syndrome is one of the major metabolic disorders leading to the development of subclinical changes in retinal microcirculation and neuroretinal structures. Optical coherence tomography (OCT) and OCT angiography (OCT-A) enable early detection of these alterations. **Objective.** To analyze the diagnostic significance of OCT and OCT-A biomarkers in retinal changes associated with metabolic syndrome. **Materials and methods.** Scientific publications published between 2020 and 2026 and indexed in PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases were analyzed. **Results and conclusion.** Reduced macular thickness, thinning of the retinal nerve fiber layer, decreased capillary density, and enlargement of the foveal avascular zone were identified as the main biomarkers of metabolic syndrome. OCT and OCT-A are highly informative noninvasive methods for the early diagnosis and prediction of metabolic retinopathy.

Keywords: metabolic syndrome, OCT, OCT angiography, retinal biomarkers, metabolic retinopathy.

For citation:

Khuddiyeva N.Yu. OCT and OCT-angiography biomarkers in metabolic syndrome-associated retinal changes: a literature review. *Advanced ophthalmology*. 2026;17(2):21-27.

Dolzarbli. Metabolik sindrom (MS) zamonaviy tibbiyotning eng dolzarb global muammolaridan biri bo'lib, abdominal semirish, arterial gipertenziya, dislipidemiya va insulinrezistentlik kabi o'zaro bog'liq metabolik buzilishlar majmuasini o'z ichiga oladi. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti va International Diabetes Federation ma'lumotlariga ko'ra, metabolik sindrom dunyo katta yoshli aholisi orasida 25–30% hollarda uchramoqda hamda ushbu ko'rsatkich yil sayin ortib bormoqda. Ayrim rivojlangan mamlakatlarda metabolik sindrom tarqalishi 35–40% gacha yetishi qayd etilgan [8, 12, 20]. Metabolik sindrom bilan bog'liq yurak-qon tomir kasalliklari va 2-tip qandli diabet rivojlanish xavfi mos ravishda 2–3 barobar yuqori ekanligi aniqlangan.

So'nggi yillarda metabolik sindromning ko'ruv analizatoriga ta'siri tobora ko'proq ilmiy e'tibor markaziga aylanmoqda. Retinal mikrotsirkulyatsiya organizmdagi metabolik va gemodinamik o'zgarishlarga juda sezgir bo'lgani sababli, retina metabolik buzilishlarning erta biomarkeri sifatida qaralmoqda [1, 8, 20]. Tadqiqotlar metabolik sindrom mavjud bemorlarda retinal nerv tolalari qavati qalinligining kamayishi, makulyar zona degeneratsiyasi, retinal kapillyar zichlikning pasayishi va foveal avaskulyar zonaning kengayishi kabi subklinik o'zgarishlar klinik oftalmologik simptomlar rivojlanishidan oldin paydo bo'lishini ko'rsatmoqda [10, 13, 19]. Ayrim ma'lumotlarga ko'ra, metabolik sindrom mavjud shaxslarda retinal mikroangiopatiya elementlari sog'lom nazorat guruhiga nisbatan 1,5–2 barobar ko'proq uchraydi. O'zbekistonda ham diabetik retinopatiya va metabolik buzilishlar bilan bog'liq retinal asoratlar dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Normatova va hammualliflar tomonidan o'tkazilgan skrining tadqiqotida yangi aniqlangan

2-tip qandli diabet bemorlarining 11,5% ida diabetik retinopatiya aniqlangan.

Hozirgi kunda optik kogerent tomografiya (OKT) va optik kogerent tomografik angiografiya (OKT-A) retinal va xoroidal mikrostruktur o'zgarishlarni invaziv bo'lmagan usulda yuqori aniqlik bilan baholash imkonini beruvchi eng zamonaviy diagnostik texnologiyalar hisoblanadi [1, 10, 20]. Ayniqsa OKT-A yordamida retinal kapillyar perfuziya, tomir zichligi va mikrotsirkulyator buzilishlarni aniqlash metabolik retinopatiyaning subklinik bosqichlarini erta tashxislash imkonini bermoqda. Shu sababli metabolik sindrom bilan bog'liq retinal o'zgarishlarda OKT va OKT-A biomarkerlarining diagnostik hamda prognostik ahamiyatini o'rganish zamonaviy oftalmologiyaning dolzarb ilmiy-amaliy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Tadqiqot maqsadi. Metabolik sindrom bilan bog'liq retinal strukturaviy va mikrovaskulyar o'zgarishlarda OKT va OKT-A biomarkerlarining diagnostik ahamiyatini tahlil qilish.

Material va usullar. Mazkur ish adabiyotlar sharhishaklida bajarildi. Adabiyotlarni qidirish PubMed, Scopus, Web of Science va Google Scholar xalqaro ilmiy ma'lumotlar bazalarida amalga oshirildi. Tahlil uchun asosan 2020–2026-yillarda chop etilgan ilmiy maqolalar tanlab olindi, ayrim fundamental va yuqori ilmiy ahamiyatga ega bo'lgan avvalgi tadqiqotlar ham qo'shimcha ravishda o'rganildi.

Ilmiy manbalarni izlashda "metabolic syndrome", "retinal biomarkers", "optical coherence tomography", "OCT angiography", "retinal microcirculation", "retinal neurodegeneration", "RNFL", "ganglion cell complex", "foveal avascular zone", "deep capillary plexus", "choriocapillaris", "metabolic retinopathy" kabi kalit so'zlar va ularning kombinatsiyalaridan foydalanildi.

Tahlilga metabolik sindrom, qandli diabet va metabolik retinopatiya bilan bog'liq retinal strukturaviy hamda mikrovaskulyar o'zgarishlarni OKT va OKT-A yordamida baholagan original maqolalar, klinik tadqiqotlar, kesimiy tadqiqotlar, prospektiv kuzatuvlar va sistematik sharhlar kiritildi. Ilmiy jihatdan yetarli ma'lumot bermaydigan, takrorlanuvchi yoki mavzuga bevosita aloqador bo'lmagan manbalar tahlildan chiqarib tashlandi.

Tanlangan maqolalarda retinal qalinlik, retinal nerv tolalari qavati, ganglioz hujayralar kompleksi, tomir zichligi, perfuziya zichligi, FAZ parametrlari, yuzaki va chuqur kapillyar pleksus hamda xoroidal perfuziya ko'rsatkichlari tahlil qilindi. Olingan ma'lumotlar metabolik sindrom bilan bog'liq retinal o'zgarishlarning diagnostik biomarkerlari nuqtai nazaridan ilmiy-analitik usulda umumlashtirildi.

Natijalar. Metabolik sindromda OKT biomarkerlari: retinal strukturaviy o'zgarishlar. Metabolik sindromda makulyar qalinlik o'zgarishlari.

Metabolik sindrom retinal to'qimalarda strukturaviy o'zgarishlarni yuzaga keltiruvchi muhim metabolik buzilishlardan biri hisoblanadi. So'nggi yillarda optik kogerent tomografiya (OKT) yordamida olib borilgan tadqiqotlar metabolik sindrom retinal qavatlar qalinligining kamayishi bilan bog'liqligini ko'rsatmoqda [13, 18, 19]. Ayniqsa markaziy makulyar zona metabolik buzilishlarga nisbatan yuqori sezuvchanlikka ega bo'lib, ushbu hududda neyrodegenerativ o'zgarishlar erta bosqichlarda shakllanishi mumkinligi aniqlangan [13, 18].

705 nafar ishtirokchini qamrab olgan populyatsion tadqiqotda metabolik sindrom mavjud bemorlarda markaziy makulyar qalinlik sezilarli darajada kamaygani aniqlangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, markaziy retinal qavat qalinligi ($\beta = -5,29$; 95% IS: $-9,31$ dan $-1,26$ gacha), parafoveal zona ($\beta = -2,85$) va perifoveal hududlarda ($\beta = -4,37$) sezilarli yuqalashuv kuzatilgan [6, 13]. Shuningdek, IDF va IDF/AHA mezonlari asosida metabolik sindrom tashxisi qo'yilgan bemorlarda makulyar hajmning kamayishi qayd etilgan. Ushbu ma'lumotlar metabolik sindrom retinal neyrodegeneratsiya va mikrovaskulyar disfunksiyaning muhim omillaridan biri ekanligini tasdiqlaydi.

Qiziqarli jihatlardan biri shundaki, retinal strukturaviy o'zgarishlarda jinsiy farqlar ham aniqlangan. Erkaklarda metabolik sindrom bilan bog'liq parafoveal retinal qalinlikning kamayishi ayollarga nisbatan ancha yaqqol namoyon bo'lgani qayd etilgan [13, 17, 19]. Bu holat metabolik retinopatiya rivojlanishida jinsga bog'liq patogenetik mexanizmlar mavjud bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi.

Makulyar qalinlikning kamayishida metabolik sindromning ayrim komponentlari alohida ahamiyat kasb etadi. Tadqiqotlar abdominal semirish va och qoringa qondagi glyukoza miqdorining oshishi perifoveal retinal qalinlikning kamayishi bilan mustaqil bog'liqligini ko'rsatgan. Bundan tashqari,

triglitsridlar miqdorining yuqoriligi hamda metabolik sindrom komponentlari sonining ortishi retinal nerv tolalari qavati va inferior parafoveal zonaning sezilarli yuqalashuvi bilan bog'liq ekanligi aniqlangan. Ayniqsa retinal nerv tolalari qavati qalinligining kamayishi metabolik sindrom fonida rivojlanayotgan neyrodegenerativ jarayonlarning erta biomarkeri sifatida qaralmoqda.

Olingan natijalar markaziy makulyar zona metabolik buzilishlarga peripapillyar retinal nerv tolalari qavatiga nisbatan sezgirroq ekanligini ko'rsatadi. Bu holat fotoretseptorlar va ichki yadro qavati neyronlarining tizimli metabolik disfunksiya hamda oksidativ stressga yuqori sezuvchanligi bilan izohlanadi. Shu sababli metabolik sindrom bilan bog'liq retinal o'zgarishlarni erta aniqlashda OKT biomarkerlarining klinik ahamiyati tobora ortib bormoqda.

Retinal nerv tolalari qavati va ganglioz hujayralar kompleksi o'zgarishlari.

Metabolik sindrom retinal neyrodegenerativ o'zgarishlarning rivojlanishida muhim rol o'ynaydi. So'nggi yillarda optik kogerent tomografiya yordamida olib borilgan tadqiqotlar metabolik sindrom mavjud bemorlarda retinal nerv tolalari qavati (RNFL) qalinligining sezilarli kamayishini ko'rsatmoqda. Sog'lom nazorat guruhi bilan taqqoslaganda metabolik sindromli bemorlarda umumiy global RNFL qalinligi ancha past bo'lgani aniqlangan ($93,6 \pm 9,9$ mkm ga nisbatan $99,0 \pm 9,3$ mkm; $p < 0,001$) [13, 17]. Shu bilan birga inferior, superior va temporal kvadrantlarda ham sezilarli yuqalashuv qayd etilgan. Ayniqsa inferior RNFL sektorida kuzatilgan o'zgarishlar eng yaqqol bo'lib, inferotemporal hududda neyrodegenerativ jarayonlar kuchliroq rivojlanishini ko'rsatadi. Bu holat ushbu hududda metabolik stress va ishemik yuklamaning yuqoriligi bilan izohlanishi mumkin.

Metabolik sindrom va qandli diabet fonida retinal ichki qavatlarining erta strukturaviy o'zgarishlari ganglioz hujayralar kompleksi (GCC) qalinligining kamayishi bilan ham namoyon bo'ladi. Tadqiqotlar klinik retinopatiya hali rivojlanmagan diabetik bemorlarda perifoveal GCC qalinligi tizimli yallig'lanish markerlari bilan chambarchas bog'liqligini ko'rsatgan [5, 9]. Xususan, tizimli immun-yallig'lanish indeksi (SII) va perifoveal GCC qalinligi o'rtasida manfiy korrelyatsiya aniqlangan ($r = -0,357$; $p = 0,041$). Ushbu natijalar metabolik sindrom bilan bog'liq neyroinflamator jarayonlar retinal mikrovaskulyar buzilishlardan oldin boshlanishini ko'rsatadi.

Ganglioz hujayralar va ichki pleksiform qavat yaxlitligini yuqori aniqlikdagi OKT yordamida baholash metabolik retinopatiyaning erta biomarkerlaridan biri sifatida katta ahamiyat kasb etmoqda. Retinal neyrodegeneratsiyaning klinik mikrovaskulyar asoratlar paydo bo'lishidan ancha oldin boshlanishi metabolik sindromli bemorlarda erta skrining va monitoring zarurligini ko'rsatadi. Shu sababli RNFL

va GCC qalinligini baholash metabolik sindrom bilan bog'liq retinal o'zgarishlarni erta aniqlash hamda prognozlashda muhim diagnostik mezonlardan biri hisoblanadi.

Retinal pigment epiteliysi va tashqi retinal qavatlardagi o'zgarishlar.

Metabolik sindrom va qandli diabet fonida retinal pigment epiteliysi (RPE) hamda tashqi retinal qavatlarda yuzaga keladigan strukturaviy o'zgarishlar retinal neyrodegeneratsiyaning muhim erta biomarkerlaridan biri sifatida qaralmoqda [5, 14]. Retinal pigment epiteliysi fotoretseptorlar metabolizmini qo'llab-quvvatlovchi, tashqi gematoretinal barerni saqlovchi va retinal homeostazni ta'minlovchi muhim anatomik tuzilma hisoblanadi. Shu sababli metabolik buzilishlar ushbu qatlamning morfologik va funksional holatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

So'nggi tadqiqotlar retinal pigment epiteliysi qalinligining kamayishi kelajakda 2-tip qandli diabet va mikrovaskulyar asoratlarni rivojlanishi xavfi bilan bog'liqligini ko'rsatmoqda [12, 20]. In vivo sharoitida o'lgan RPE qalinligining pasayishi metabolik disfunktsiyaning erta belgilaridan biri sifatida baholanmoqda. Plazmadagi metabolitlarni tizimli tahlil qilish orqali RPE qalinligi bilan bog'liq metabolik "fingerprint"lar aniqlangan bo'lib, ular lipid, uglevod va aminokislotalar almashinuvi buzilishlari bilan chambarchas bog'liqligi qayd etilgan. Bu holat retina organizmdagi tizimli metabolik buzilishlarni aks ettiruvchi sezgir biologik indikator ekanligini yana bir bor tasdiqlaydi.

Uzoq muddatli 1-tip qandli diabet mavjud o'smirlarda olib borilgan tadqiqotlarda tashqi retinal qavat (ORL) va retinal pigment epiteliysi qalinligi sog'lom nazorat guruhiga nisbatan oshgani aniqlangan [3, 5]. Mazkur o'zgarishlar diabetik retinopatiya mavjud va mavjud bo'lmagan ko'zlarda ham kuzatilgan bo'lib, ayrim retinal sektorlarda statistik jihatdan ishonchli farqlar qayd etilgan. Tadqiqotchilar ushbu holatni fotoretseptor-RPE kompleksi darajasida rivojlanayotgan erta kompensator reaksiyalar yoki metabolik remodellanish jarayonlari bilan izohlashmoqda [4, 10, 19].

Tashqi retinal qavat va retinal pigment epiteliysi holatini OKT yordamida baholash metabolik retinopatiyaning dastlabki bosqichlarini aniqlashda muhim diagnostik ahamiyatga ega. Ayniqsa metabolik sindrom va diabet fonida retinal tashqi qatlamlarda yuzaga keladigan nozik strukturaviy o'zgarishlarni erta aniqlash kelgusida rivojlanishi mumkin bo'lgan neyrodegenerativ hamda mikrovaskulyar asoratlarni prognozlash imkonini beradi.

Metabolik sindromda OKT-angiografiya biomarkerlari: retinal perfuziya o'zgarishlari. Tomir zichligi va perfuziya zichligi buzilishlari.

So'nggi yillarda optik kogerent tomografik angiografiya (OKT-A) metabolik sindrom bilan bog'liq retinal mikrovaskulyar o'zgarishlarni erta aniqlashda

eng istiqbolli diagnostik usullardan biri sifatida keng qo'llanilmoqda. Ayniqsa yurak-qon tomir-buyrak-metabolik (CKM) sindromining dastlabki bosqichlarida retinal perfuziya va tomir zichligidagi subklinik o'zgarishlar klinik simptomlardan oldin paydo bo'lishi aniqlangan. Glyukoza almashinuvi buzilishi, dislipidemiya, arterial gipertenziya va giperurikemiya bilan xarakterlanuvchi erta CKM sindromida sog'lom nazorat guruhiga nisbatan retinal qalinlik hamda tomir zichligining ETDRS zonalarida sezilarli kamayishi qayd etilgan [10, 11].

Tadqiqot natijalariga ko'ra, tashqi temporal retinal qalinlik, yuzaki kapillyar pleksus tomir zichligi va ichki superior perfuziya ko'rsatkichlari metabolik buzilishlarning mustaqil prognostik markerlari sifatida aniqlangan. Ayniqsa temporal retinal hudud metabolik stressga nisbatan yuqori sezuvchanlikka ega ekanligi qayd etilib, bu holat ushbu zonaning yuqori kislorod ehtiyoji va mikrosirkulyator yuklamasi bilan izohlanadi.

Metabolik sindrom retinal qon oqimiga bir necha patogenetik mexanizmlar orqali salbiy ta'sir ko'rsatadi. Abdominal semirish va tana massa indeksining ortishi yuzaki kapillyar pleksusning markaziy va periferik hududlarida qon oqimining pasayishi bilan kuchli manfiy korrelyatsiya namoyon qilgan. Shuningdek qondagi glyukoza miqdorining oshishi va insulinrezistentlik ko'rsatkichi hisoblangan HOMA indeksi makulyar hududdagi qon oqimining kamayishi bilan bog'liq ekanligi aniqlangan [6, 15]. Ushbu ma'lumotlar metabolik buzilishlar retinal mikrosirkulyatsiya disfunktsiyasini erta bosqichlarda yuzaga keltirishini ko'rsatadi.

Dislipidemiya, ayniqsa triglitseridlar miqdorining oshishi retinal perfuziya buzilishlarining eng muhim omillaridan biri sifatida qayd etilgan. Tadqiqotlarda triglitseridlarning yuqori darajasi yuzaki kapillyar pleksusning makulyar zonasida qon oqimining sezilarli pasayishi bilan bog'liq bo'lgani aniqlangan [6, 19]. Bu esa lipid almashinuvi buzilishlari metabolik retinopatiya rivojlanishida asosiy modifikatsiyalanuvchi xavf omillaridan biri ekanligini ko'rsatadi.

Shunday qilib, OKT-A yordamida retinal tomir zichligi va perfuziya ko'rsatkichlarini baholash metabolik sindrom bilan bog'liq mikrovaskulyar buzilishlarni klinik simptomlar rivojlanishidan oldin aniqlash imkonini beradi. Ushbu biomarkerlar metabolik retinopatiyani erta tashxislash, monitoring qilish va individual prognozlashda yuqori diagnostik ahamiyatga ega hisoblanadi.

Foveal avaskulyar zona kengayishi va FAZ morfologik o'zgarishlari.

Foveal avaskulyar zona (FAZ) metabolik buzilishlar bilan bog'liq retinal mikrovaskulyar zararlanishlarning eng sezgir biomarkerlaridan biri hisoblanadi [17, 19, 20]. Optik kogerent tomografik angiografiya (OKT-A) yordamida aniqlanadigan FAZ kengayishi metabolik retinopatiyaning klinik

jihtadan ko'rinadigan mikrovaskulyar o'zgarishlari rivojlanishidan oldingi dastlabki belgilaridan biri sifatida qaralmoqda. Ayniqsa surunkali giperglikemiya retinal mikrotsirkulyatsiyada chuqur biokimyoviy va metabolik buzilishlarni yuzaga keltiradi [8, 12]. Polioli yo'li faollashuvi, ilg'or glikatsiya mahsulotlari (AGEs) to'planishi, protein kinaza C (PKC) faollashuvi hamda geksosamin yo'lining kuchayishi retinal hujayralarda oksidativ stress va mitoxondrial disfunktsiyani rivojlantiradi. Ushbu jarayonlar retinal neyrodegeneratsiya va kapillyar remodelanish bilan kechib, dastlab FAZ kengayishi va mikrovaskulyar perfuziya buzilishlari bilan namoyon bo'ladi.

So'nggi tadqiqotlarda hatto klinik diabetik retinopatiya hali rivojlanmagan bolalarda ham retinal mikrosirkulyator o'zgarishlar aniqlanishi metabolik buzilishlarning erta ta'sirini tasdiqlamoqda. Xususan, qandli diabet mavjud bolalarda fovea atrofidagi 300 mkm kenglikdagi halqasimon hududda tomir zichligi ko'rsatkichi (FD-300) sog'lom nazorat guruhiga nisbatan sezilarli darajada kamaygani aniqlangan ($48,66 \pm 3,57\%$ ga nisbatan $49,76 \pm 3,91\%$; $p = 0,01$). Ayniqsa kasallik davomiyligi 5 yildan ortiq bo'lgan bemorlarda FD-300 ko'rsatkichining yanada pasayishi qayd etilgan [17, 19]. Ushbu natijalar retinal kapillyar perfuziya buzilishlari klinik diabetik retinopatiya rivojlanishidan ancha oldin boshlanishini ko'rsatadi.

FAZ morfologiyasidagi o'zgarishlar retinal ishemiya va mikrovaskulyar disfunktsiyaning muhim ko'rsatkichi hisoblanadi. FAZ maydonining kengayishi, shaklining notekisligi hamda perifoveal kapillyar tarmoq zichligining kamayishi metabolik retinopatiyaning erta bosqichlarini aniqlashda yuqori diagnostik ahamiyatga ega. Shu sababli OKT-A yordamida FAZ parametrlari va FD-300 ko'rsatkichlarini baholash metabolik sindrom hamda diabet bilan bog'liq retinal zararlanishlarni subklinik bosqichda aniqlash va prognozlashda istiqbolli noinvaziv biomarker sifatida qaralmoqda.

Chuqur va yuzaki kapillyar pleksusdagi o'zgarishlar.

Metabolik sindrom retinal mikrosirkulyatsiyaning turli qavatlariga turlicha ta'sir ko'rsatadi. Optik kogerent tomografiya angiografiya (OKT-A) yordamida olib borilgan tadqiqotlar yuzaki kapillyar pleksus (SCP) va chuqur kapillyar pleksus (DCP) darajasida xarakterli perfuziya buzilishlari rivojlanishini ko'rsatmoqda [15, 17, 19]. Ayniqsa chuqur kapillyar pleksus metabolik buzilishlarga nisbatan yuzaki pleksusga qaraganda sezgirroq ekanini qayd etilgan. Bu holat retinal ichki qavatlarining yuqori metabolik ehtiyoji va mikrotsirkulyator autoregulyatsiyaning buzilishi bilan bog'liq deb hisoblanadi.

Metabolik sindrom bilan birga kechuvchi psoriazli bemorlarda yuzaki kapillyar pleksus tomir zichligi asosan umumiy retinal tasvir hamda superior va temporal perifoveal zonalarda sezilarli kamaygani aniqlangan. Biroq chuqur kapillyar pleksus tomir

zichligi metabolik sindrom mavjud yoki mavjud emasligidan qat'i nazar barcha psoriazli bemorlarda sezilarli pasayganligi qayd etilgan. Ushbu natijalar metabolik buzilishlar dastlab chuqur kapillyar pleksus darajasida ishemik o'zgarishlarni yuzaga keltirib, keyinchalik retinal mikrosirkulyatsiyaning barcha qavatlariga tarqalishini ko'rsatadi.

Chuqur kapillyar pleksusning yuqori sezgirligi retinal qavatlarining metabolik talabi turlicha ekanligi bilan izohlanadi. Ayniqsa ichki yadro qavati va fotoretseptorlar zonasi kislorod yetishmovchiligi hamdamikrovaskulyar autoregulyatsiya buzilishlariga nisbatan juda sezgir hisoblanadi. Shu sababli metabolik sindrom fonida retinal qon oqimining pasayishi va kapillyar perfuziya heterogenligi dastlab DCP darajasida namoyon bo'ladi [15, 19].

Zamonaviy OKT-A texnologiyalari yordamida retinal perfuziya heterogenligini baholash metabolik retinopatiyaning yangi biomarkerlaridan biri sifatida qaralmoqda. Tadqiqotlar metabolik kasallik og'irlashgan sari yuzaki va chuqur kapillyar komplekslarda perfuziya notekisligi ortishini ko'rsatgan [10, 11, 20]. Ushbu holat retinal kapillyar autoregulyatsiyaning buzilishi bilan bog'liq bo'lib, perfuziya zichligi va tomir zichligi kabi klassik OKT-A ko'rsatkichlari bilan chambarchas korrelyatsiya qiladi.

Shunday qilib, chuqur va yuzaki kapillyar pleksusdagi mikrovaskulyar o'zgarishlarni kompleks baholash metabolik sindrom bilan bog'liq retinal zararlanishlarni erta aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa DCP darajasidagi perfuziya buzilishlari metabolik retinopatiyaning eng erta va sezgir biomarkerlaridan biri sifatida qaralmoqda.

Xoriokapillyar va xoroidal perfuziya o'zgarishlari.

Metabolik sindrom retinal mikrosirkulyatsiya bilan bir qatorda xoroidal qon aylanish tizimiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa xoriokapillyar qatlam tashqi retina va retinal pigment epiteliysi (RPE)ni kislorod hamda oziq moddalar bilan ta'minlovchi asosiy tomir tizimi hisoblanadi [14, 20]. Shu sababli metabolik buzilishlar fonida xoriokapillyar perfuziyaning pasayishi tashqi retinal qatlamlarda funksional va strukturaviy zararlanishlarning rivojlanishiga olib keladi. Zamonaviy swept-source OKT-A tadqiqotlari metabolik va tizimli yallig'lanish kasalliklarida xoriokapillyar perfuziya maydoni hamda xoroidal vaskulyarlik indeksining sog'lom nazorat guruhiga nisbatan sezilarli kamayishini ko'rsatgan.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, tizimli immun-yallig'lanish indeksi (SII) bilan xoroid qalinligi o'rtasida kuchli musbat korrelyatsiya mavjudligi aniqlangan ($r = 0,686$; $p < 0,001$) [9, 14]. Bu holat metabolik sindromda kuzatiladigan surunkali yallig'lanish va endotelial disfunktsiya xoroidal tomirlarda ham remodelanish jarayonlarini yuzaga keltirishini ko'rsatadi. Xoroidal perfuziya buzilishlari tashqi retinal qatlamlar va fotoretseptorlar funksiyasining yomonlashuviga sabab bo'lishi mumkin.

Xoroid qalinligi metabolik buzilishlarning dinamik strukturaviy biomarkeri sifatida katta ahamiyat kasb etadi. OKT yordamida xoroid qalinligini baholash xoriokapillyar perfuziya ko'rsatkichlari bilan birgalikda retinal salomatlik holatini kompleks tahlil qilish imkonini beradi. Shu bilan birga, so'nggi yillarda xoroidal vaskulyarlik indeksi (CVI) xoroidal qon tomirlar holatini baholashda yanada barqaror va ishonchli biomarker sifatida e'tirof etilmoqda [3, 14, 20]. Ushbu ko'rsatkich xoroidning tomirli (luminal) va stromal komponentlarini bir vaqtning o'zida baholash imkonini beradi hamda fiziologik omillar ta'siriga xoroid qalinligiga nisbatan kamroq moyilligi bilan ajralib turadi. (Jadval 1)

Jadval 1. Metabolik sindrom bilan bog'liq retinal biomarkerlar

Biomarker	O'zgarish turi	Diagnostic ahamiyati
Makulyar qalinlik	Kamayadi	Erta neyrodegeneratsiya
Retinal nerv tolalari qavati	Yupqalashadi	Neyroretinal zararlanish
GCC (ganglioz hujayralar kompleksi)	Kamayadi	Neuroinflammation
Tomirlar qalinligi	Pasayadi	Mikrovaskulyar disfunktsiya
FAZ(foveal avaskulyar zona)	Kengayadi	Ishemiya belgisi
DCP perfusion (chuqur kapillyar pleksus)	Pasayadi	Erta metabolik retinopatiya
Xoriokapillyarlar	Perfuzion buzilish	Tashqi retinal zararlanish

Shu sababli, xoroidal vaskulyarlik indeksini metabolik sindrom va metabolik retinopatiyada uzoq muddatli monitoring olib borishda istiqbolli biomarker sifatida qo'llash mumkin. Ayniqsa metabolik kasallikning progresiyasi va davolash samaradorligini baholashda xoriokapillyar perfuziya hamda xoroidal vaskulyar ko'rsatkichlarning kompleks tahlili katta diagnostik va prognostik ahamiyatga ega hisoblanadi.

Xulosa. Adabiyotlartahlilimetaboliksindromretinal neyrodegenerativ va mikrovaskulyar o'zgarishlarning

rivojlanishiga olib kelishini ko'rsatdi. Metabolik sindromda makulyar qalinlikning kamayishi, retinal nerv tolalari qavati va ganglioz hujayralar kompleksi yupqalashuvi, retinal tomir zichligining pasayishi hamda foveal avaskulyar zonaning kengayishi asosiy OKT va OKT-A biomarkerlari sifatida aniqlandi. Ayniqsa chuqur kapillyar pleksus va xoriokapillyar perfuziya buzilishlari metabolik retinopatiyaning erta belgilaridan biri ekanligi qayd etildi.

Optik kogerent tomografiya va optik kogerent tomografik angiografiya metabolik sindrom bilan bog'liq retinal o'zgarishlarni subklinik bosqichda aniqlash, monitoring qilish va prognozlashda yuqori diagnostik ahamiyatga ega noinvaziv usullar

hisoblanadi. Shu sababli metabolik sindrom va qandli diabet mavjud bemorlarda OKT hamda OKT-A tekshiruvlarini muntazam qo'llash, retinal biomarkerlarni dinamik kuzatish hamda sun'iy intellekt asosidagi retinal imaging texnologiyalarini klinik amaliyotga joriy etish metabolik retinopatiyaning erta diagnostikasi va profilaktikasini takomillashtirishga xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR/ REFERENCES

- Augustin AJ, Atorf J. The value of optical coherence tomography angiography (OCT-A) in neurological diseases. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(2). <https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS12020468>.
- Bakhritdinova, F. A., Urmanova, F. M., & Nabiyeva, I. F. (2021). Diabetic retinopathy in patients with type 2 diabetes: Aspects of early diagnosis, treatment and prediction of the outcome of the disease. *The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research*, 3(7), 53–65. <https://doi.org/10.37547/TAJMSPR/Volume03Issue07-03>
- Bilici, S., Gultekin Erol, T., Bilici, M. E., Canturk Ugurbas, S., & Ugurbas, S. H. (2024). Evaluation of Choroidal Structures in Children with Newly Diagnosed Type-1 Diabetes Mellitus. *Beyoglu Eye J*, 9(3), 144–148. <https://doi.org/10.14744/bej.2024.36036>.
- Cankurtaran V, Inanc M, Tekin K, Turgut F. Retinal microcirculation in predicting diabetic nephropathy in type 2 diabetic patients without retinopathy. *Ophthalmologica*. 2020;243(4):271–9. DOI: 10.1159/000504943
- Carbonell, M., Alonso, N., Castelblanco, E., Real, J., Ramírez-Morros, A., Simó, R., Hernández, C., Jurjo, C., Traveset, A., Valldeperas, X., & Mauricio, D. (2019). Assessment of Inner Retinal Layers and Choroidal Thickness in Type 1 Diabetes Mellitus: A Cross-Sectional Study. *Journal of Clinical Medicine*, 8(9), 1412. <https://doi.org/10.3390/jcm8091412>
- Chen, Y., Liu, Y., Cong, L., Liu, A., Song, X., Liu, W., Hua, R., Shen, Q., Shao, Y., Xue, Y., Yao, Q., & Zhang, Y. (2023). Sleeve gastrectomy improved microvascular phenotypes from obesity cohort, detected with optical coherence tomography angiography. *Journal of Diabetes*, 15, 313 – 324. <https://doi.org/10.1111/1753-0407.13374>.
- Djamalova Shirin Abdumuratovna, Iskandarova Shahnoza Tulkinovna, & Nabiye Abdubali Mirzalievich (2015). Organization of care for patients with diabetic retinopathy in Uzbekistan. *European science review*, (3–4), 16–19.
- García, D. (2025). Retinal physiology in metabolic syndrome.. *Advances in genetics*, 113, 76–101 . <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2024.11.002>.

9. Kahraman, H.G., Güven, Y.Z., Akay, F. et al. New marker for the detection of pre-retinopathy in patients with type 1 diabetes mellitus: systemic immuno-inflammation index. *BMC Ophthalmol* 25, 296 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12886-025-04138-0>
10. Liang Y, Liang C, Yang J, Li W, Liang R, Li K, Zhang J, Lao P, Zhu J, An L, Liang Z and Ou C (2025) Investigation of early-stage cardiovascular-kidney-metabolic syndrome on retinal structure and function evaluated by optical coherence tomography angiography. *Front. Med.* 12:1614321. doi: 10.3389/fmed.2025.1614321
11. Liang, Y., Liang, C., Yang, J., Li, W., Liang, R., Li, K., Zhang, J., Lao, P., Zhu, J., An, L., Liang, Z., & Ou, C. (2025). Investigation of early-stage cardiovascular-kidney-metabolic syndrome on retinal structure and function evaluated by optical coherence tomography angiography. *Frontiers in Medicine*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1614321>.
12. Menezes, M. E. de, Rodrigues, A. M., Dallazen, E., & Sousa, I. L. M. de. (2026). Diabetes mellitus and ocular compromise: Early identification of changes before advanced retinopathy. *International Health Sciences Review*, 2(2), 113 – 122. <https://doi.org/10.70164/ihsr.v2i2.134>
13. New SH, Leow SN, Vasudevan SK, Idris IB, Tang SF, et al. (2021) Relationship between anthropometric and biochemical changes of metabolic syndrome with retinal nerve fiber layer and macular thickness. *PLOS ONE* 16(2): e0246830. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246830>
14. Orduna-Hospital E, Perdices L, Sanchez-Cano A, Acha J, Cuenca N, Pinilla I. Choroidal changes of long-term type 1 diabetic patients without retinopathy. *Diagnostics*. 2020;10(4). <https://doi.org/10.3390/diagnostics10040235>.
15. Shaikh, R., Mushtaq, A., Qureshi, A., Ahmed, J., Hussain, J., & Haq, A. (2023). Assessment of Early Microvascular Changes in the Eye and Ear in Patients with Metabolic Syndrome: A Cross-Sectional Study. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*. <https://doi.org/10.53350/pjmhs020231711372>.
16. Toptan, M., & Elkan, H. (2024). Investigating the Impact of Bariatric Surgery on Macular and Peripapillary Vessel Density in Obese Individuals Without Metabolic Disease.. *Ophthalmic research*. <https://doi.org/10.1159/000539103>.
17. Uğurlu N, Taşlıpınar AG, Yülek F, Özdemir D, Ersoy R, Çakır B. Evaluation of retinal microvascular structures in type 1 diabetic patients without diabetic retinopathy. *Ankara Med Journal Published Online* Dec. 2018;26. <https://doi.org/10.17098/amj.501136>.
18. Vivanco-Rojas, Ó., Ramírez-Hernández, E., Zenteno, E., Buentello-Volante, B., Magaña-Guerrero, F., Domínguez-López, A., Emmanuel, S., Salgado, J., Pereyra-Morales, M., & Y, G. (2025). Characterization of corneal and retinal changes in a metabolic syndrome model in young and adult mice.. *Experimental eye research*, 110496 . <https://doi.org/10.1016/j.exer.2025.110496>.
19. Yao, Y., Wang, Q., Yang, J., Yan, Y., & Wei, W. (2024). Associations of retinal microvascular alterations with diabetes mellitus: an OCTA-based cross-sectional study. *BMC Ophthalmology*, 24. <https://doi.org/10.1186/s12886-024-03492-9>.
20. Yuan, Y., Dong, M., Wen, S., Yuan, X., & Zhou, L. (2024). Retinal microcirculation: A window into systemic circulation and metabolic disease.. *Experimental eye research*, 109885 . <https://doi.org/10.1016/j.exer.2024.109885>.

Minnatdorchilik

Muallif maqolani tayyorlash jarayonida ilmiy-uslubiy yordam ko'rsatgan Abu Ali ibn Sino nomidagi Buxoro davlat tibbiyot instituti Oftalmologiya kafedrası jamoasiga o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Manfaatlar to'qnashuvi

Muallif manfaatlar to'qnashuvi mavjud emasligini bildiradilar.

Moliyalashtirish

Tadqiqot maxsus grant asosida moliyalashtirilmagan.

Muallif hissasi

Muallif maqolaning konsepsiyasi, adabiyotlar tahlili, maqolani yozish va tahrirlash ishlarini mustaqil bajardi.