УДК: 617.7-007.681:004.8

ГЛАУКОМАНИ ОЛДИНИ ОЛИШ, ТАШХИСЛАШ ВА ДАВОЛАШДА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТДАН ФОЙДАЛАНИШ ИСТИҚБОЛЛАРИ (АДАБИЁТЛАР ШАРҲИ)

Камилов Халиджан Махамаджанович
Ўзбекистон Республикаси Соғлиқни сақлаш вазирлиги
Тиббиёт ходимларининг касбий малакасини ривожлантириш маркази
Худойберганов Азизбек Рўзбаевич
Ўзбекистон Республикаси Соғлиқни сақлаш вазирлиги
Тиббиёт ходимларининг касбий малакасини ривожлантириш маркази
Камилов Элбек Ойбек ўғли
Ўзбекистон Республикаси Соғлиқни сақлаш вазирлиги
Тиббиёт ходимларининг касбий малакасини ривожлантириш маркази
https://doi.org/10.5281/zenodo.22255838

АННОТАЦИЯ

Глаукома дунё бўйича қайтарилмас кўрликнинг асосий сабабларидан бири ҳисобланади. Касалликнинг эрта босқичларида клиник белгилари кам намоён бўлиши сабабли уни ўз вақтида аниқлаш мураккаб бўлиб қолмоқда. Сўнгги йилларда сунъий интеллект (Artificial Intelligence — AI) технологиялари глаукомани эрта ташхислаш, касаллик прогрессиясини баҳолаш ва даволаш самарадорлигини оширишда муҳим аҳамият касб этмоқда. Ушбу адабиётлар шарҳида хорижий ва Ўзбекистон олимлари томонидан олиб борилган тадқиқотлар таҳлил қилиниб, глаукомани профилактика қилиш, ташхислаш ва даволашда AI технологияларининг имкониятлари ёритилди.

Калит сўзлар: глаукома, сунъий интеллект, диагностика, офтальмология, deep learning, OCT, fundus imaging.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОФИЛАКТИКЕ, ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ ГЛАУКОМЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

АННОТАЦИЯ

Глаукома является одной из ведущих причин необратимой слепоты во всем мире. Поскольку на ранних стадиях заболевания клинические проявления выражены слабо, его своевременная диагностика остается сложной задачей. В последние годы технологии искусственного интеллекта (Artificial Intelligence — AI) приобретают важное значение в ранней диагностике глаукомы, оценке прогрессирования заболевания и повышении эффективности лечения. В данном обзоре литературы проанализированы исследования зарубежных и узбекских ученых, а также освещены возможности технологий AI в профилактике, диагностике и лечении глаукомы

Ключевые слова: глаукома, искусственный интеллект, диагностика, офтальмология, глубокое обучение (deep learning), ОКТ (OCT), фундус-визуализация (fundus imaging).

PROSPECTS FOR THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE PREVENTION, DIAGNOSIS, AND TREATMENT OF GLAUCOMA (LITERATURE REVIEW)

ANNOTATION

Glaucoma is one of the leading causes of irreversible blindness worldwide. Due to the limited clinical manifestations in the early stages of the disease, timely diagnosis remains challenging. In recent years, Artificial Intelligence (AI) technologies have gained significant importance in the early detection of glaucoma, assessment of disease progression, and improvement of treatment outcomes. This literature review analyzes studies conducted by international and Uzbek researchers and highlights the potential of AI technologies in the prevention, diagnosis, and treatment of glaucoma.

Keywords: glaucoma, artificial intelligence, diagnosis, ophthalmology, deep learning, optical coherence tomography (OCT), fundus imaging.

Долзарблиги. Глаукома — кўрув нервининг прогрессив шикастланиши, тўр парда ганглиоз ҳужайралари ва уларнинг аксонлари зарарланиши ҳамда кўрув майдонида характерли нуқсонларнинг ривожланиши билан кечувчи сурункали офтальмологик касаллик бўлиб, ўз вақтида аниқланмаса кўриш қобилиятининг қайтарилмас пасайиши ва кўрликка олиб келиши мумкин. Глаукоманинг тиббий-ижтимоий аҳамияти унинг узоқ вақт давомида субъектив белгиларсиз кечиши, касалликнинг дастлабки босқичларида беморларда кўриш функциясининг нисбатан сақланиб қолиши ва патологик жараённинг қайтарилмас хусусиятга эга эканлиги билан белгиланади. Жаҳон соғлиқни сақлаш ташкилоти маълумотларига кўра, глаукома кўрликнинг асосий сабабларидан бири ҳисобланади. Айниқса, аҳолининг узоқ умр кўриш ёши ошиши билан унинг тарқалиши ҳам ошиб бормоқда. Замонавий тиббиётда рақамли технологиялар ва сунъий интеллект тизимлари офтальмологиянинг турли йўналишларида кенг қўлланилмоқда. Шуларни инобатга олган ҳолда, машинали ўқитиш (Machine Learning) ва чукур ўқитиш (Deep Learning) алгоритмлари ёрдамида кўз тубининг тасвирлари, ОКТ (Optical Coherence Tomography) маълумотлари ҳамда кўрув майдони кўрсаткичларини таҳлил қилиш асосида глаукомани эрта аниқлаш, касалликнинг ривожланиш хавфини прогнозлаш ва ҳар бир бемор учун оптимал даволаш тактикасини танлаш орқали кўриш қобилиятини сақлаб қолиш замонавий офтальмологиянинг долзарб йўналишларидан бири ҳисобланади.

Мақсад: Ўзбекистон Республикасида ва хорижий мамлакатларда турли сунъий интеллект тизимларидан фойдаланган ҳолда глаукомани эрта аниқлаш, касалликнинг ривожланишини прогнозлаш ва уни самарали даволаш бўйича олиб борилган илмий ишларни таҳлил қилиш ҳамда ушбу технологияларни клиник офтальмологик

амалиётга жорий этиш истиқболларини баҳолаш. Мақсадга эришиш учун қуйидаги вазифаларни ечиш лозим:

- глаукомани эрта аниқлаш бўйича амалий тавсиялар негизида замонавий сунъий интеллект тизимларидан фойдаланиш имкониятларини таҳлил қилиш;
- кўз туби тасвирлари, ОКТ ва компьютер периметрияси натижаларини таҳлил қилишда Machine Learning ва Deep Learning алгоритмларининг диагностик имкониятларини баҳолаш;
- глаукоманинг прогрессиясини прогнозлашда сунъий интеллект технологияларининг имкониятларини ўрганиш;
- глаукомани самарали даволашда ҳар бир бемор учун персоналлашган ёндашувни амалга оширишга сунъий интеллект тизимларини татбиқ қилиш имкониятини ўрганиш;
- Ўзбекистон шароитида глаукомани оммавий скрининг қилишда сунъий интеллект технологияларидан фойдаланиш истиқболларини баҳолаш.

Материаллар ва усуллар: сунъий интеллектнинг турли тизимларидан фойдаланган ҳолда глаукома касаллигини эрта аниқлаш, унинг ривожланишини прогнозлаш ва самарали даволаш бўйича Ўзбекистон Республикасида ва ҳорижий мамлакатларда олиб борилган илмий ишлар маълумотлари тўпланди ва таҳлил қилинди. Илмий адабиётларни таҳлил қилишда глаукома диагностикасида кўз тубининг рақамли тасвирлари, ОКТ, компьютер периметрияси ва бошқа офтальмологик диагностик маълумотларни қайта ишлашга асосланган Machine Learning ва Deep Learning технологияларига алоҳида эътибор қаратилди. Шунингдек, сунъий интеллект алгоритмларининг глаукомани скрининг қилиш, касаллик босқичини аниқлаш, прогрессия хавфини баҳолаш ва клиник қарор қабул қилишдаги имкониятларига бағишланган тадқиқотлар қиёсий таҳлил қилинди. Таҳлил жараёнида сунъий интеллект моделларининг диагностик самарадорлигини баҳолашда сезгирлик, спецификлик, умумий диагностик аниқлик ва ROC эгри чизиғи остидаги майдон (AUC) каби кўрсаткичларга эътибор қаратилди. Шу билан бирга, алгоритмларни клиник амалиётга жорий қилиш имконияти, уларнинг афзалликлари ва мавжуд чекловлари ҳам ўрганилди.

Натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Сунъий интеллект тизимларининг тиббиётда қўлланилиши асосан катта ҳажмдаги маълумотларни автоматик таҳлил қилиш, улар орасидаги мураккаб қонуниятларни аниқлаш ва олинган натижалар асосида ташхис ёки прогноз шакллантиришга асосланади. Machine Learning сунъий интеллектнинг маълумотлар асосида қонуниятларни ўрганиб, прогноз ёки таснифлашни амалга оширувчи соҳасидир. Deep Learning эса машинали ўқитишнинг ривожланган тури бўлиб, кўп қатламли сунъий нейрон тармоқлари ёрдамида тиббий тасвирлар ва бошқа мураккаб маълумотларни юқори аниқлик билан таҳлил қилиш имконини беради. Глаукомани эрта ташхислашда айнан Deep Learning алгоритмлари энг истиқболли технологиялардан бири деб ҳисобланмоқда. Глаукома диагностикасида сунъий интеллектни қўллашнинг муҳим йўналишларидан бири кўз тубининг рангли фотографияларини автоматик таҳлил қилишдир. Кўрув нерви

дискидаги глаукоматоз ўзгаришлар, жумладан, экскавациянинг кенгайиши, нейроретинал ҳалқанинг ингичкалашиши ва бошқа морфологик белгилар алгоритмлар томонидан автоматик равишда аниқланиши мумкин. Анъанавий усулда ушбу параметрларни баҳолаш маълум даражада текширувчи мутахассиснинг тажрибасига боғлиқ бўлса, автоматлаштирилган таҳлил стандартлаштирилган баҳолаш имкониятини яратади.

Ҳорижий тадқиқотларда AI алгоритмлари кўз туби тасвирлари орқали глаукомани юқори аниқликда ташхислаши кўрсатилган. Artificial Intelligence соҳасидаги замонавий deep learning моделлари асосида ишловчи алгоритмлар тўр парда қаватларидаги ва кўрув нерви дискидаги ўзгаришларини автоматик таҳлил қилиб, касалликнинг эрта босқичларини аниқлаш имконини бериши, айрим тадқиқот шароитларида эса AI технологияларининг диагностик кўрсаткичлари малакали офтальмологлар натижаларига яқинлашиши қайд этилган [1]. Lauren Coan ва ҳаммуаллифлар кўз туби тасвирлари орқали глаукомани автоматик аниқлаш борасида тадқиқотлар олиб боришган. Таҳлиллар натижасида AI алгоритмларининг глаукомани скрининг қилиш ва клиник амалиётда шифокор қарорини қўллаб-қувватлашда катта истиқболга эга эканлиги таъкидланган [2].

Сунъий интеллектдан фойдаланишнинг яна бир муҳим йўналиши ОКТ тасвирларини автоматлаштирилган таҳлил қилиш ҳисобланади. Глаукомада тўр парда ганглиоз ҳужайралари ва уларнинг аксонлари шикастланиши натижасида RNFL ва GCC қалинлигининг камайиши кузатилади. Ушбу структур ўзгаришлар айрим беморларда кўрув майдонида аниқ функционал нуқсонлар шаклланишидан олдин пайдо бўлиши мумкин. Шу сабабли ОКТ тасвирларини Deep Learning алгоритмлари билан таҳлил қилиш глаукомани эрта босқичда аниқлаш имкониятларини кенгайтиради. Замонавий алгоритмлар фақат RNFLнинг ўртача қалинлигини эмас, балки унинг секторлар бўйича ўзгариши, макуляр ганглиоз ҳужайралар комплекси ҳолати, кўрув нерви дискининг морфометрик параметрлари ва вақт давомида юзага келадиган структур ўзгаришларни ҳам комплекс баҳолаш имкониятига эга. Бу эса глаукома диагностикасини оддий “глаукома бор ёки йўқ” таснифидан касалликнинг индивидуал прогрессия хавфини баҳолаш даражасига олиб чиқиши мумкин. Компьютер периметрияси натижаларини сунъий интеллект ёрдамида таҳлил қилиш ҳам муҳим аҳамиятга эга. Глаукоманинг дастлабки босқичларида кўрув майдонидаги ўзгаришлар минимал бўлиши ва стандарт таҳлилда уларни ажратиш қийин кечиши мумкин. Machine Learning алгоритмлари кўрув майдонидаги кўп сонли нуқталар сезгирлиги, mean deviation (MD), pattern standard deviation (PSD) каби параметрларни комплекс таҳлил қилиб, глаукоматоз нуқсонларга хос бўлган қонуниятларни аниқлаш имконини беради. Бир нечта кетма-кет периметрия текширувларини таҳлил қилиш орқали эса касалликнинг функционал прогрессия тезлигини прогнозлаш имконияти пайдо бўлади.

Сўнгги йилларда AI асосидаги глаукомани оммавий скрининг қилиш дастурлари ҳам ишлаб чиқилмоқда. AIROGS (Artificial Intelligence for Robust Glaucoma Screening) лойиҳасида тўр парданинг 113 мингдан ортиқ тасвирлари таҳлил қилиниб, AI алгоритмлари глаукомани юқори сезгирлик билан аниқлаши исботланган [4]. Катта

ҳажмдаги тасвирлар базасидан фойдаланиш алгоритмларни турли клиник ҳолатларга мослаштириш ва уларнинг барқарорлигини оширишда муҳим аҳамият касб этади.

Ҳиндистонда ўтказилган тадқиқотларда смартфон камералари билан интеграция қилинган AI тизимлари глаукомани 92,0% аниқлик билан ташхислагани маълум қилинган [5]. Мобил қурилмалар ва портатив фундус-камераларни сунъий интеллект алгоритмлари билан бирлаштириш ихтисослаштирилган офтальмологик ёрдам имконияти чекланган ҳудудларда скринингни ташкил қилиш учун алоҳида аҳамиятга эга. Бундай тизимлар бирламчи тиббий-санитария ёрдами муассасаларида хавф гуруҳидаги шахсларни саралаш ва офтальмолог кўригини талаб қилувчи беморларни автоматик ажратиш имкониятини яратиши мумкин. AI технологияларининг муҳим афзалликларидан яна бири турли диагностик маълумотларни бирлаштириш, яъни мультимодал таҳлил қилиш имкониятидир. Кўз туби фотографияси, ОКТ, кўрув майдони, кўз ички босими, марказий шох парда қалинлиги, беморнинг ёши, ирсий анамнези ва бошқа хавф омилларини ягона алгоритм доирасида таҳлил қилиш глаукома хавфини янада аниқроқ баҳолаш имконини бериши мумкин. Бу айниқса, глаукомага шубҳали ҳолатларда ва окуляр гипертензияси бўлган беморларда кейинчалик глаукома ривожланиш эҳтимолини прогнозлаш учун муҳимдир.

AI нафақат ташхислаш, балки глаукомани даволаш тактикасини танлашда ҳам муҳим аҳамият касб этмоқда. Алгоритмлар беморнинг кўз ичи босими, ОКТ кўрсаткичлари ва кўрув майдони маълумотларини таҳлил қилиб, индивидуал прогноз бериш имконини яратиши мумкин. Бу эса беморда касалликнинг ривожланиш хавфини баҳолаш, мақсадли кўз ички босими даражасини белгилаш ва кузатувлар оралиғини индивидуал танлашда шифокорга ёрдам бериши мумкин, натижада шифокорлар AI технологиялари алгоритми қарорларининг якуний босқичини кўриши мумкин ва бу эса клиник қарор қабул қилиш жараёнини ишончлироқ қила олади. Бундан ташқари, клиник кейслар асосида глаукома турларини ажратишда ёрдам бериши мумкинлиги аниқланган [3].

Глаукомани даволашда персоналлашган ёндашув алоҳида аҳамиятга эга. Бир хил кўз ички босими турли беморларда турлича клиник натижаларга олиб келиши мумкин., шу сабабли фақат кўз ички босимининг абсолют қийматини эмас, балки унинг динамикаси, кўрув нерви диски ва RNFL ҳолати, кўрув майдонининг ўзгариш тезлиги, беморнинг ёши ва кутилаётган умр давомийлиги каби омилларни комплекс баҳолаш талаб этилади. Сунъий интеллект ушбу маълумотларни бир вақтнинг ўзида қайта ишлаб, юқори хавфли беморларни ажратиш ва даволашни индивидуаллаштиришда клиник қарорларни қўллаб-қувватловчи восита сифатида хизмат қилиши мумкин.

Бундан ташқари, сунъий интеллект беморларни динамик кузатишда ҳам муҳим аҳамият касб этиши мумкин. Бир неча йил давомида тўпланган ОКТ ва периметрия натижаларини автоматик солиштириш орқали алгоритмлар структур ва функционал ўзгаришларнинг тезлигини ҳисоблаши, касаллик прогрессияси тез бўлган беморларни автоматик равишда хавф гуруҳига киритиши мумкин. Натижада шифокор даволаш тактикасини ўз вақтида кучайтириш, дори воситаларини ўзгартириш, лазер ёки жарроҳлик усулларини қўллаш заруриятини эртароқ кўриб чиқиш имкониятига эга бўлади. Шу билан бирга, AI технологияларини клиник амалиётга татбиқ қилишда уларнинг мавжуд чекловларини ҳам ҳисобга олиш зарур. Сунъий интеллект

моделларининг самарадорлиги уларни ўқитишда фойдаланилган маълумотлар базасининг ҳажми, сифати ва популяцион таркибига бевосита боғлиқ. Маълум бир мамлакат ёки этник гуруҳ маълумотлари асосида ишлаб чиқилган алгоритм бошқа популяцияда бир хил диагностик натижа кўрсатмаслиги мумкин. Шунингдек, тасвир сифати пастлиги, ОКТ сегментациясидаги хатолар, юқори даражали миопия, кўрув нерви дискининг атипик тузилиши ва бошқа офтальмологик касалликларнинг мавжудлиги алгоритм натижаларига таъсир қилиши мумкин. AI тизимларидан фойдаланишда маълумотларнинг махфийлиги, ахборот хавфсизлиги, алгоритм қарорларининг тушунарлилиги ва тиббий қарор учун масъулият масалалари ҳам муҳим аҳамиятга эга. Шу сабабли сунъий интеллектни офтальмолог ўрнини босувчи технология сифатида эмас, балки мутахассиснинг диагностик ва клиник қарор қабул қилиш имкониятларини кенгайтирувчи ёрдамчи восита сифатида баҳолаш мақсадга мувофиқ.

Ўзбекистонда ҳам бутун дунёда бўлгани каби глаукома муаммоси долзарб ҳисобланади, республика миқёсида глаукома тарқалишини баҳолашга бағишланган тадқиқотларда касаллик кўрсаткичлари йил сайин ошиб бораётгани қайд этилган [6]. Мамлакатимиз олимлари ҳам глаукомани эрта ташхислаш ва профилактика қилиш бўйича қатор илмий ишлар олиб боришмоқда. Бу борада глаукомани даволашнинг замонавий усулларини такомиллаштириш, Ўзбекистон иқлими шароитида глаукома профилактикаси масалалари ҳам ўрганилган, лекин айнан сунъий интеллект тизимлари орқали глаукома муаммосини ҳал қилишга бағишланган илмий ишлар таҳлил давомида кузатилмади [7]. Ўзбекистонда глаукома диагностикаси учун сунъий интеллект технологияларини ривожлантиришда миллий офтальмологик маълумотлар базасини шакллантириш муҳим аҳамиятга эга. Ушбу базага турли ёшдаги беморларнинг кўз туби тасвирлари, ОКТ, периметрия, тонометрия натижалари ва клиник маълумотларини стандартлаштирилган тарзда киритиш келгусида маҳаллий популяция хусусиятларига мос AI алгоритмларини ишлаб чиқиш учун асос бўлиши мумкин. Айниқса, республика ҳудудларида глаукомани эрта аниқлаш мақсадида телемедицина, портатив диагностик ускуналар ва сунъий интеллект тизимларини бирлаштириш истиқболли йўналиш ҳисобланади. Бирламчи тиббий-санитария ёрдами муассасаларида олинган кўз туби тасвирларини марказлаштирилган AI платформаси орқали таҳлил қилиш ва глаукомага шубҳали беморларни ихтисослаштирилган офтальмологик муассасаларга йўналтириш касалликни эрта аниқлаш даражасини ошириши мумкин. Шундай қилиб, сунъий интеллект технологиялари глаукома диагностикасини автоматлаштириш билан чекланиб қолмай, касалликнинг бутун клиник йўлини — хавф гуруҳларини аниқлашдан бошлаб, эрта диагностика, прогрессияни прогнозлаш, даволаш тактикасини танлаш ва беморларни динамик кузатишгача бўлган жараённи такомиллаштириш имкониятига эга.

Хулоса. Ўтказилган таҳлил натижалари сунъий интеллект технологиялари глаукомани эрта аниқлаш, касаллик прогрессиясини баҳолаш ва даволашни персоналлаштиришда янги имкониятларни очиб бераётганини кўрсатади. AI алгоритмлари офтальмологларга ташхис қўйишда ёрдам бериб, инсон омили билан боғлиқ хатоларни камайтиришга хизмат қилади. Айниқса, аҳоли ўртасида оммавий

скрининг ўтказишда AI технологиялари катта аҳамиятга эга. Ўзбекистонда ҳам глаукома билан боғлиқ илмий тадқиқотлар фаол олиб борилмоқда. Келажакда миллий офтальмологик маълумотлар базаси яратилиши ва AI тизимларини амалиётга жорий этиш глаукома билан боғлиқ кўрлик ҳолатларини камайтиришга хизмат қилиши мумкин.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати:

1. Mayro E.L. et al. The impact of artificial intelligence in the diagnosis and management of glaucoma. 2020, Eye, volume 34, pages 1–11.
2. Delsoz M. et al. The Use of ChatGPT to Assist in Diagnosing Glaucoma Based on Clinical Case Reports. Ophthalmology and Therapy, 2023, Volume 12, pages 3121–3132.
3. Coan L. et al. Automatic detection of glaucoma via fundus imaging and artificial intelligence: A review, 2022.
4. Hagiwara Y. et al. AI-Driven Approaches for Glaucoma Detection — A Comprehensive Review, 2024.
5. Chayan T.I. et al. Explainable AI based Glaucoma Detection using Transfer Learning and LIME, 2022.
6. Kakharova D.M. et al. Modern methods for diagnostics of glaucoma. The American journal of medical sciences and pharmaceutical research, volume 06, issue 02 (14), page 107-110.
7. Yusupov A.A., Tukhtaev B.U. Clinical efficacy of laser trabeculoplastic surgery in glaucoma. Биология ва тиббиёт муаммолари, 2024, №5 (156), 222-227 б.