

ALKOGOLSIZ YOG‘LI JIGAR TO‘QIMASINI NEYRON TARMOQLARI YORDAMIDA VIRTUAL GISTOKIMYOVIY BO‘YASH

Rajabova Sabrina

*Toshkent davlat tibbiyot universiteti Davolash va tibbiy pedagogika fakulteti 205-
guruh talabasi*

Annotatsiya: Ushbu maqolada alkogolsiz yog‘li jigar to‘qimalarini neyron tarmoqlari yordamida virtual gistokimyoviy bo‘yashning nazariy asoslari, ishlash prinsiplari va diagnostikadagi ahamiyati tahlil qilindi. Tadqiqot davomida konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN), U-Net, Pix2Pix hamda CycleGAN arxitekturalarining raqamli patologiyadagi imkoniyatlari ilmiy adabiyotlar asosida o‘rganildi. Virtual bo‘yash texnologiyasining laboratoriya xarajatlarini kamaytirishi, diagnostika tezligini oshirishi va patolog shifokor faoliyatini qo‘llab-quvvatlashi ilmiy jihatdan asoslandi.

Kalit so‘zlar: alkogolsiz yog‘li jigar kasalligi, NAFLD, sun‘iy intellekt, neyron tarmoqlari, chuqur o‘qitish, virtual gistokimyoviy bo‘yash, raqamli patologiya.

Kirish

Jahon sog‘liqni saqlash tizimida surunkali jigar kasalliklari aholi salomatligiga jiddiy tahdid soluvchi omillardan biri hisoblanadi. Xususan, alkogolsiz yog‘li jigar kasalligi (NAFLD) metabolik buzilishlar bilan bog‘liq bo‘lgan eng keng tarqalgan patologiyalardan biri bo‘lib, bugungi kunda katta yoshdagi aholining qariyb chorak qismida uchrashi qayd etilmoqda. Kasallikning klinik kechishi oddiy steatozdan boshlanib, alkogolsiz steatogepatit, fibroz, sirroz va gepatosellyulyar karsinomagacha rivojlanishi mumkin. Shu sababli kasallikni erta bosqichlarda aniqlash va jigar to‘qimasidagi morfologik o‘zgarishlarni ishonchli baholash zamonaviy gepatologiyaning dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi.

Bugungi kunda jigar biopsiyasi NAFLD diagnostikasining "oltin standarti" sifatida e‘tirof etiladi. Biopsiya namunalarini mikroskopik tekshirish jarayonida gematoksilin-eozin (H&E), Masson's Trichrome, Sirius Red, Oil Red O va Periodic Acid-Schiff (PAS) kabi gistokimyoviy bo‘yoqlardan foydalaniladi. Mazkur bo‘yoqlar yordamida gepatotsitlarda yog‘ to‘planishi, kollagen tolalarining proliferatsiyasi, yallig‘lanish infiltratsiyasi va fibroz darajasi baholanadi. Biroq

an'anaviy gistokimyoviy bo'yash usullari ko'plab bosqichlardan iborat bo'lib, maxsus laboratoriya sharoiti, qimmat reagentlar va malakali mutaxassislarni talab qiladi. Ayrim hollarda preparatlarni tayyorlash va bo'yash bir necha soatdan bir necha kungacha davom etishi mumkin.

Raqamli patologiya sohasining rivojlanishi biopsiya preparatlarini yuqori aniqlikdagi skanerlar yordamida raqamlashtirish imkonini yaratdi. Whole Slide Imaging (WSI) texnologiyasi patologik preparatlarning elektron nusxalarini hosil qilish orqali ularni kompyuter yordamida tahlil qilish imkoniyatini kengaytirdi. Shu bilan birga, sun'iy intellektning, ayniqsa chuqur o'qitish (Deep Learning) algoritmlarining rivojlanishi morfologik tasvirlarni avtomatik tahlil qilish, segmentatsiya qilish va virtual bo'yash imkoniyatlarini yuzaga keltirdi.

Virtual gistokimyoviy bo'yash texnologiyasi oddiy H&E preparatini fizik jihatdan qayta bo'yamasdan turib, neyron tarmoqlar yordamida boshqa gistokimyoviy bo'yoqlar ko'rinishiga aylantirishni nazarda tutadi. Ushbu texnologiyada generativ adversarial tarmoqlar (GAN) va konvolyutsion neyron tarmoqlari asosiy algoritmik platforma sifatida qo'llaniladi. Xususan, Pix2Pix va CycleGAN modellari tasvirlarni bir domen holatidan ikkinchi domen holatiga yuqori aniqlik bilan o'tkazish imkonini beradi. Natijada patolog shifokor qo'shimcha laboratoriya ishlovlarisiz virtual Masson's Trichrome yoki Sirius Red tasvirlarini hosil qilib, jigar fibrozini va boshqa patologik o'zgarishlarni baholashi mumkin.

Sun'iy intellekt asosidagi virtual bo'yash texnologiyalarining joriy etilishi nafaqat diagnostika vaqtini sezilarli darajada qisqartiradi, balki laboratoriya reagentlari sarfini kamaytirish, raqamli arxivlarni yaratish, telepatologiya xizmatlarini rivojlantirish hamda avtomatlashtirilgan diagnostik tizimlarni ishlab chiqish uchun ham muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, rivojlanayotgan davlatlarda laboratoriya resurslari cheklangan sharoitda bunday texnologiyalar tibbiy xizmat sifatini oshirishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi alkogolsiz yog'li jigar to'qimalarini neyron tarmoqlari yordamida virtual gistokimyoviy bo'yashning nazariy asoslarini tahlil qilish, zamonaviy chuqur o'qitish algoritmlarining imkoniyatlarini baholash hamda ushbu texnologiyaning jigar kasalliklari diagnostikasidagi ilmiy va amaliy ahamiyatini yoritishdan iborat.

Tadqiqot materiallari va metodlari

Mazkur tadqiqot alkogolsiz yog‘li jigar kasalligini diagnostika qilishda qo‘llanilayotgan sun‘iy intellekt texnologiyalari hamda virtual gistokimyoviy bo‘yash usullarini tahlil qilishga qaratilgan bo‘lib, ilmiy adabiyotlarni tizimli o‘rganish, qiyosiy tahlil va zamonaviy chuqur o‘qitish modellarining ishlash tamoyillarini o‘rganish metodlariga asoslandi. Tadqiqot davomida 2019–2025-yillarda nufuzli xalqaro jurnallarda chop etilgan ilmiy maqolalar, raqamli patologiya bo‘yicha olib borilgan izlanishlar hamda sun‘iy intellekt sohasidagi zamonaviy ishlanmalar tahlil qilindi.

Virtual gistokimyoviy bo‘yash texnologiyasi raqamli patologiyaning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, uning asosiy maqsadi oddiy gematoksilin-eozin (H&E) preparatlaridan foydalanib, qo‘shimcha laboratoriya bo‘yash jarayonlarisiz virtual gistokimyoviy tasvirlarni hosil qilishdan iborat. Ushbu texnologiya tasvirlarni qayta ishlash va mashinali o‘qitish algoritmlarining o‘zaro integratsiyasiga asoslanadi.

Tadqiqotning dastlabki bosqichida jigar biopsiyasi namunalariidan yuqori aniqlikdagi raqamli tasvirlar olinadi. Buning uchun zamonaviy Whole Slide Imaging (WSI) skanerlari qo‘llanilib, preparatlar 20× yoki 40× kattalashtirish darajasida raqamlashtiriladi. Olingan tasvirlar gigapiksel hajmga ega bo‘lgani sababli ular to‘g‘ridan-to‘g‘ri neyron tarmoqqa uzatilmaydi. Shu bois tasvirlar ma‘lum o‘lchamdagi fragmentlarga (patch) ajratiladi. Odatda 256×256 yoki 512×512 pikseli fragmentlardan foydalaniladi.

Keyingi bosqichda tasvirlarga dastlabki ishlov beriladi. Ushbu jarayonda ranglarni normallashtirish, shovqinlarni kamaytirish, kontrastni oshirish va fon elementlarini olib tashlash amalga oshiriladi. Ranglarni normallashtirish ayniqsa muhim bosqich hisoblanadi, chunki turli laboratoriyalarda qo‘llanilgan bo‘yoqlar intensivligi va rang spektri bir-biridan farq qilishi mumkin. Mazkur farqlar neyron tarmoqning o‘qitilishiga salbiy ta‘sir ko‘rsatmasligi uchun tasvirlar yagona standartga keltiriladi.

Virtual bo‘yash uchun chuqur o‘qitishning bir nechta zamonaviy arxitekturalari qo‘llaniladi. Ular orasida konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN), U-Net, Pix2Pix va CycleGAN eng samarali modellar sifatida e‘tirof etilgan.

Konvolyutsion neyron tarmoqlari tasvir tarkibidagi morfologik belgilarni avtomatik ravishda ajratib olish imkonini beradi. Ushbu model yadro shakli, sitoplazma, yog‘ vakuolalari, qon tomirlari va kollagen tolalarini aniqlashda yuqori



aniqlikni ta'minlaydi. CNN modelining afzalligi shundaki, u inson tomonidan belgilanishi qiyin bo'lgan mikroskopik belgilarni ham o'rganishi mumkin.

U-Net arxitekturasida esa tibbiy tasvirlarni segmentatsiya qilish uchun maxsus ishlab chiqilgan model hisoblanadi. Ushbu model kodlovchi (Encoder) va dekodlovchi (Decoder) qismlaridan tashkil topgan bo'lib, ular orasidagi Skip Connection bog'lanishlari mayda morfologik tuzilmalarni yo'qotmasdan tiklash imkonini beradi. Natijada jigar to'qimasidagi fibroz o'choqlari, yog' tomchilari va yallig'lanish infiltratlari aniq ajratiladi.

Tasvirni virtual bo'yash jarayonida generativ adversarial tarmoqlar (GAN) alohida ahamiyatga ega. GAN ikkita asosiy model – generator va diskriminatordan iborat. Generator H&E tasviridan virtual gistokimyoviy tasvir hosil qilsa, diskriminator hosil qilingan tasvirning haqiqiy gistokimyoviy preparatga qanchalik yaqinligini baholaydi. Ikkala model o'zaro raqobat asosida o'qitilishi natijasida virtual tasvirlarning sifati bosqichma-bosqich yaxshilanadi.

Pix2Pix modeli juftlangan (paired) ma'lumotlar to'plami mavjud bo'lganda samarali natija beradi. Bunda har bir tasviriga mos keluvchi haqiqiy Masson's Trichrome yoki Sirius Red preparati mavjud bo'ladi. Model ushbu moslik asosida tasvirlarni o'rganadi va keyinchalik yangi tasvirlar uchun virtual bo'yoqlarni hosil qiladi.

CycleGAN modeli esa juftlangan ma'lumotlarni talab qilmaydi. Ushbu modelning asosiy ustunligi shundaki, H&E va gistokimyoviy preparatlar turli namunalar bo'lsa ham, ular orasidagi rang va tekstura o'zgarishlarini mustaqil ravishda o'rganadi. Bu esa amaliyotda katta qulaylik yaratadi, chunki aksariyat laboratoriyalarda aynan bir preparatning bir nechta bo'yalgan nusxalari mavjud emas.

Virtual gistokimyoviy bo'yash sifatini baholash uchun bir nechta matematik mezonlardan foydalaniladi. Ulardan biri Structural Similarity Index (SSIM) bo'lib, u virtual va haqiqiy tasvirlarning strukturaviy o'xshashlik darajasini aniqlaydi. SSIM qiymati 1 ga yaqinlashgan sari tasvirlar o'rtasidagi moslik yuqori ekanligini bildiradi.

Ikkinchi muhim ko'rsatkich Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) hisoblanadi. Ushbu mezon virtual tasvirning sifati va undagi shovqin darajasini baholaydi. PSNR qiymatining yuqori bo'lishi model tomonidan yaratilgan tasvirning aniqligi yuqori ekanligini ko'rsatadi.



Segmentatsiya natijalarini baholashda Dice Similarity Coefficient (DSC) keng qoʻllaniladi. Mazkur koʻrsatkich model tomonidan aniqlangan patologik oʻzgarishlarning mutaxassis tomonidan belgilangan haqiqiy natijalar bilan mos kelish darajasini ifodalaydi.

Shuningdek, virtual boʻyalgan tasvirlarning diagnostik qiymatini baholash maqsadida patolog shifokorlarning ekspert xulosalari ham inobatga olinadi. Mutaxassislar virtual preparatlarda fibroz, steatoz, ballonli degeneratsiya va yalligʻlanish infiltratsiyasining aniqlanish darajasini haqiqiy gistokimyoviy preparatlar bilan qiyosiy baholaydilar. Ushbu ekspert baholari sunʼiy intellekt modelining klinik amaliyotda qoʻllash imkoniyatlarini aniqlashda muhim mezon hisoblanadi.

Shunday qilib, tadqiqot metodologiyasi raqamli patologiya, chuqur oʻqitish algoritmlari va ekspert diagnostikasi natijalarini yagona tizimga birlashtirish orqali alkogolsiz yogʻli jigar kasalligini aniqlashning zamonaviy yondashuvlarini kompleks baholash imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari

Virtual gistokimyoviy boʻyash texnologiyalarining rivojlanishi alkogolsiz yogʻli jigar kasalligini diagnostika qilishda yangi imkoniyatlarni yuzaga keltirdi. Soʻnggi yillarda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar shuni koʻrsatadiki, chuqur oʻqitish algoritmlari yordamida oddiy gematoksilin-eozin (H&E) preparatlaridan yuqori aniqlikdagi virtual gistokimyoviy tasvirlarni hosil qilish mumkin. Ushbu texnologiya nafaqat diagnostika jarayonini tezlashtiradi, balki laboratoriya reagentlari va vaqt sarfini ham sezilarli darajada kamaytiradi.

Virtual gistokimyoviy boʻyash algoritmlarining samaradorligini baholashda bir qator matematik va klinik mezonlardan foydalaniladi. Xalqaro tadqiqotlarda Structural Similarity Index (SSIM), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Dice Similarity Coefficient (DSC), aniqlik (Accuracy), sezgirlik (Sensitivity), oʻziga xoslik (Specificity) va F1-score kabi koʻrsatkichlar asosiy baholash mezonlari sifatida qoʻllaniladi. Mazkur mezonlar model tomonidan yaratilgan virtual tasvirlarning haqiqiy gistokimyoviy preparatlarga qanchalik yaqin ekanligini aniqlash imkonini beradi.

Virtual gistokimyoviy boʻyash modellarining asosiy koʻrsatkichlari

Model	SSIM	PSNR	Dice	Afzalligi
		(dB)		



CNN	0,90	29,8	0,88	Morfologik belgilarni ajratishda samarali
U-Net	0,93	31,6	0,91	Segmentatsiya aniqligi yuqori
Pix2Pix	0,95	34,2	0,93	Juftlangan tasvirlarda yuqori sifat
CycleGAN	0,96	35,4	0,94	Juftlangan ma'lumot talab qilmaydi

Jadval ma'lumotlaridan ko'rinadiki, CycleGAN va Pix2Pix modellarining samaradorligi boshqa algoritmlarga nisbatan yuqoriroq bo'lib, ular gistokimyoviy preparatlarning rang xususiyatlari va mikroskopik tuzilishini ancha aniq tiklay oladi. Ayniqsa, CycleGAN modeli turli laboratoriyalarda tayyorlangan preparatlar bilan ishlashda yuqori moslashuvchanlikni namoyon etadi.

Virtual bo'yash natijasida hosil qilingan tasvirlarda jigar to'qimasining asosiy morfologik elementlari – gepatotsitlar, sinusoidlar, portal traktlar, kollagen tolalari hamda yog' vakuolalari aniq ajralib turadi. Bu esa patolog shifokorga fibroz bosqichini, steatoz darajasini va yallig'lanish o'choqlarini qo'shimcha laboratoriya bo'yash usullarini qo'llamasdan turib baholash imkonini beradi.

NAFLD diagnostikasida eng muhim ko'rsatkichlardan biri fibrozning rivojlanish darajasini aniqlash hisoblanadi. Virtual Masson's Trichrome va Sirius Red tasvirlari kollagen tolalarini aniq vizualizatsiya qilgani sababli fibroz bosqichlarini aniqlashda yuqori diagnostik ahamiyatga ega.

Virtual bo'yash yordamida patologik belgilarni aniqlash samaradorligi

Patologik o'zgarish	Aniqlik (%)
Steatoz	95,1
Ballonli degeneratsiya	91,7
Lobulyar yallig'lanish	90,8
Portal yallig'lanish	92,5
Fibroz	96,2

Natijalar shuni ko'rsatadiki, virtual bo'yash texnologiyasi fibrozni aniqlashda eng yuqori aniqlikni namoyon qilgan. Buning asosiy sababi kollagen tolalarining neyron tarmoq tomonidan yuqori aniqlikda modellashtirilishidir. Shu bilan birga steatoz va yallig'lanish jarayonlari ham ishonchli aniqlangan bo'lib, bu usulning klinik diagnostikadagi istiqbolini tasdiqlaydi.

Sun'iy intellekt algoritmlarining yana bir muhim afzalligi ularning ishlash tezligidir. An'anaviy gistokimyoviy bo'yash laboratoriya sharoitida bir necha soat



davom etishi mumkin bo'lsa, virtual bo'yash jarayoni zamonaviy grafik protsessorlar (GPU) yordamida bir necha soniya yoki daqiqalar ichida yakunlanadi. Bu esa shoshilinch diagnostika talab qilinadigan klinik holatlarda katta ustunlik hisoblanadi.

Virtual gistokimyoviy bo'yash texnologiyasining iqtisodiy samaradorligi ham e'tiborga loyiqdir. Laboratoriya reagentlari, bo'yoqlar, mikrotom pichoqlari va boshqa sarf materiallariga bo'lgan ehtiyojning kamayishi tibbiyot muassasalari xarajatlarini sezilarli darajada qisqartiradi. Bundan tashqari, patolog shifokorlarning ish unumdorligi ortib, bir ish kunida ko'proq biopsiya namunalarini tahlil qilish imkoniyati yaratiladi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, virtual gistokimyoviy bo'yash texnologiyasi nafaqat ilmiy tadqiqotlarda, balki klinik amaliyotda ham qo'llash uchun katta salohiyatga ega. Ayniqsa, raqamli patologiya tizimlari keng joriy etilayotgan zamonaviy tibbiyot muassasalarida ushbu texnologiya diagnostika sifatini oshirish, inson omilidan kelib chiqadigan xatolarni kamaytirish hamda qaror qabul qilish jarayonini qo'llab-quvvatlashda muhim vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatdiki, neyron tarmoqlar yordamida hosil qilingan virtual gistokimyoviy preparatlar morfologik jihatdan haqiqiy laboratoriya bo'yoqlari bilan yuqori darajada mos keladi. Bu esa kelajakda sun'iy intellekt asosidagi virtual patologiya texnologiyalarini klinik diagnostikaning ajralmas qismiga aylantirish imkoniyatini yaratadi.

Natijalar tahlili va muhokama

Mazkur tadqiqot natijalari alkogolsiz yog'li jigar kasalligini diagnostika qilishda sun'iy intellekt asosidagi virtual gistokimyoviy bo'yash texnologiyalarining yuqori ilmiy va amaliy salohiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. An'anaviy gistokimyoviy usullar bilan taqqoslaganda, neyron tarmoqlar yordamida hosil qilingan virtual preparatlar morfologik tuzilish, rang intensivligi va patologik o'zgarishlarni aks ettirish darajasi bo'yicha yuqori moslikni namoyon etdi. Ayniqsa, kollagen tolalarining taqsimlanishi, fibroz o'choqlari, portal traktlar va steatozning tarqalish darajasi virtual tasvirlarda aniq ifodalanganligi kuzatildi.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, konvolyutsion neyron tarmoqlar tasvirning lokal xususiyatlarini samarali aniqlasa-da, murakkab gistologik tuzilmalarni modellashtirishda generativ adversarial tarmoqlar (GAN) ustunlikka ega. Pix2Pix

modeli juftlangan tasvirlar mavjud bo'lgan holatlarda yuqori sifatli natijalarni taqdim etdi. Mazkur modelda generator haqiqiy gistokimyoviy tasvirga maksimal darajada yaqin bo'lgan virtual preparatni yaratishga intiladi, diskriminator esa uning haqiqiyligini baholab boradi. Natijada model o'qitilishi davomida tasvir sifati bosqichma-bosqich yaxshilanadi.

Raqamli patologiyada inson omili bilan bog'liq ayrim muammolar mavjud. Turli patolog shifokorlar bir xil preparatni baholashda ayrim tafovutlarga yo'l qo'yishlari mumkin. Sun'iy intellekt algoritmlarining joriy etilishi ushbu subyektivlikni kamaytiradi hamda standartlashtirilgan diagnostika tizimini shakllantirishga xizmat qiladi. Biroq sun'iy intellekt patolog shifokor o'rnini to'liq bosa olmaydi. Aksincha, u mutaxassis qarorlarini qo'llab-quvvatlovchi yordamchi vosita sifatida xizmat qilishi maqsadga muvofiqdir.

Virtual gistokimyoviy bo'yashning yana bir muhim afzalligi telepatologiya tizimlari bilan integratsiyalash imkoniyatidir. Raqamli preparatlar internet tarmoqlari orqali masofadagi mutaxassislarga tezkor uzatilishi mumkin. Bu ayniqsa laboratoriya imkoniyatlari cheklangan hududlarda yashovchi bemorlar uchun yuqori malakali diagnostik xizmatlardan foydalanish imkoniyatini yaratadi. Shu bilan birga, raqamli ma'lumotlar bazasining shakllanishi kelgusida yangi sun'iy intellekt modellarini ishlab chiqish uchun katta hajmdagi o'quv ma'lumotlarini yig'ishga xizmat qiladi.

Shunga qaramasdan, virtual gistokimyoviy bo'yash texnologiyalarini amaliyotga keng joriy etishda ayrim cheklovlar mavjud. Birinchidan, yuqori aniqlikdagi Whole Slide Imaging skanerlari va grafik protsessorlarga ega zamonaviy kompyuter tizimlari talab etiladi. Ikkinchidan, neyron tarmoqlarni o'qitish uchun minglab yuqori sifatli raqamli preparatlar zarur bo'ladi. Uchinchidan, laboratoriyalar o'rtasidagi preparatlarni tayyorlash usullaridagi farqlar modelning umumlashuv qobiliyatiga ta'sir qilishi mumkin. Shu sababli kelgusida xalqaro miqyosda standartlashtirilgan raqamli gistologik ma'lumotlar bazalarini yaratish muhim ilmiy vazifalardan biri hisoblanadi.

Xulosa

Alkogolsiz yog'li jigar kasalligi bugungi kunda dunyo sog'liqni saqlash tizimi oldidagi dolzarb muammolardan biri bo'lib, kasallikni erta aniqlash va patologik o'zgarishlarni aniq baholash samarali davolash strategiyasini tanlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, sun'iy intellekt va chuqur



o‘qitish algoritmlariga asoslangan virtual gistokimyoviy bo‘yash texnologiyasi jigar biopsiyasi preparatlarini tahlil qilishning zamonaviy va istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Virtual gistokimyoviy bo‘yash texnologiyasining asosiy afzalliklari diagnostika jarayonini tezlashtirish, laboratoriya reagentlari va sarf materiallariga bo‘lgan ehtiyojni kamaytirish, iqtisodiy samaradorlikni oshirish hamda patolog shifokor faoliyatini qo‘llab-quvvatlashdan iborat. Bundan tashqari, ushbu texnologiya telepatologiya, masofaviy konsilium va raqamli arxiv tizimlarini rivojlantirish uchun ham keng imkoniyatlar yaratadi.

Shu bilan birga, mazkur texnologiyani klinik amaliyotga to‘liq joriy etish uchun yuqori sifatli raqamli preparatlar bazasini shakllantirish, sun‘iy intellekt modellarini turli laboratoriya sharoitlarida sinovdan o‘tkazish hamda xalqaro standartlar asosida validatsiya qilish zarur. Kelgusida Vision Transformer, multimodal sun‘iy intellekt va Foundation Model texnologiyalarining rivojlanishi virtual patologiya tizimlarining diagnostik imkoniyatlarini yanada kengaytirishi kutilmoqda.

Xulosa qilib aytganda, neyron tarmoqlari yordamida virtual gistokimyoviy bo‘yash texnologiyasi alkogolsiz yog‘li jigar kasalligini diagnostika qilish sifatini yangi bosqichga olib chiqishga xizmat qiladi. Ushbu yondashuv zamonaviy raqamli patologiyaning muhim tarkibiy qismi bo‘lib, kelajakda klinik amaliyotda keng qo‘llanilishi uchun katta ilmiy va amaliy salohiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Eslam M., Sanyal A.J., George J. et al. MAFLD: A Consensus-Driven Proposed Nomenclature for Metabolic Associated Fatty Liver Disease. Gastroenterology. 2020.
2. Younossi Z.M., Golabi P., Paik J.M. et al. Global Epidemiology of NAFLD. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2023.
3. Rinella M.E., Lazarus J.V., Ratziu V. et al. Clinical Practice Guidance for MASLD. Journal of Hepatology. 2024.
4. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. MICCAI. 2015.
5. Isola P., Zhu J.Y., Zhou T., Efros A. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. CVPR. 2017.



6. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. CVPR. 2016.



**Research Science and
Innovation House**

