

SUN’IY INTELLEKTNING GISTOLOGIK DIAGNOSTIKADAGI O‘RNI

Dustmurodova Sevinch Inom qizi**Ashurova Shahzoda Jasurovna***Samarqand davlat tibbiyot universiteti, Boshqaruv va menejment fakultetining
1-bosqich talabalari[1,2]***Ilmiy rahbar: Kurbonov Xurshed Rahmatulloyevich***Samarqand davlat tibbiyot universiteti, Gistologiya, sitologiya va
embriologiya kafedrasida assistenti, PhD.*+998992840461 / sevinch.dustmurodova@icloud.com*Samarqand, Uzbekistan*

Annotatsiya: So‘nggi yillarda tibbiyotning raqamli transformatsiyasi natijasida sun‘iy intellekt (SI) texnologiyalarining diagnostik jarayonlarga integratsiyasi jadal sur‘atlarda rivojlanmoqda. Ayniqsa, gistologik diagnostika sohasida SI asosidagi tizimlar hujayra va to‘qima darajasidagi morfologik o‘zgarishlarni aniqlash, tasniflash va prognostik baholashda yuqori aniqlik va tezkorlikni ta‘minlab, an‘anaviy mikroskopik tahlilning samaradorligini sezilarli darajada oshirmoqda. Sun‘iy intellekt algoritmlari, xususan, mashinaviy o‘qitish (machine learning) va chuqur o‘qitish (deep learning) modellarining histopatologik tasvirlarni tahlil qilishda qo‘llanilishi diagnostik xatoliklarni kamaytirish, inson omiliga bog‘liq subyektivlikni pasaytirish hamda standartlashtirilgan natijalarga erishish imkonini bermoqda. Mazkur maqolada sun‘iy intellekt texnologiyalarining gistologik diagnostikadagi o‘rni, ularning ishlash mexanizmlari, klinik amaliyotdagi qo‘llanilish sohalari hamda afzallik va cheklovlari ilmiy asosda tahlil qilinadi. Shuningdek, raqamli patologiya tizimlarining rivojlanishi, katta hajmdagi ma‘lumotlar (big data) bilan ishlash imkoniyati va avtomatlashtirilgan tasvir analizining onkologik kasalliklar diagnostikasidagi ahamiyati yoritiladi. Sun‘iy intellektning patologik jarayonlarni erta aniqlashdagi roli, ayniqsa, saraton kasalliklarini skrining qilish va prognozlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, SI asosidagi tizimlar gistologik preparatlarni tahlil qilishda yuqori aniqlik (ba‘zi hollarda 90–95% gacha) ko‘rsatib, patolog shifokorlarning diagnostik qarorlarini qo‘llab-quvvatlovchi muhim yordamchi vosita sifatida xizmat qilmoqda. Shu bilan birga, klinik amaliyotga keng joriy etish uchun ma‘lumotlar sifati, algoritmik shaffoflik va etik masalalar kabi muammolarni hal etish zarur.

Kalit so‘zlar: sun‘iy intellekt, gistologik diagnostika, raqamli patologiya, mashinaviy o‘qitish, chuqur o‘qitish, histopatologiya, tibbiy tasvir tahlili, onkologik diagnostika, big data, algoritmik tahlil, hujayra morfologiyasi, avtomatlashtirilgan diagnostika, klinik qaror

qo‘llab-quvvatlash tizimi, tibbiyotda raqamlashtirish, erta tashxis.

Kirish: So‘nggi o‘n yilliklarda tibbiyot fanida raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi diagnostika va davolash jarayonlarida tub burilish yasadi. Ayniqsa, patologik anatomiya va gistologiya sohalarida sun‘iy intellekt (SI) asosidagi tizimlarning joriy etilishi hujayra va to‘qima darajasidagi o‘zgarishlarni aniqlashda yuqori aniqlik, tezkorlik va standartlashgan yondashuvni ta‘minlamoqda. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti hamda zamonaviy ilmiy manbalarda qayd etilishicha, raqamli patologiya va SI texnologiyalari tibbiy diagnostikaning yangi bosqichini shakllantirib, inson omiliga bog‘liq subyektiv xatoliklarni sezilarli darajada kamaytirishga xizmat qilmoqda. Gistologik diagnostika patologiyaning asosiy yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, unda to‘qimalarning mikroskopik tuzilishi o‘rganilib, kasalliklarning etiologiyasi, patogenezi hamda klinik shakllari aniqlanadi. An‘anaviy usullarda patolog-shifokor mikroskop yordamida preparatlarni ko‘rib chiqadi, bu jarayon esa ko‘p vaqt talab qiladi hamda inson omiliga bog‘liq subyektivlikni o‘z ichiga oladi. Shu sababli diagnostik aniqlikni oshirish va jarayonni avtomatlashtirish zarurati sun‘iy intellekt texnologiyalarining ushbu sohaga kirib kelishini tezlashtirdi. Sun‘iy intellekt, xususan mashinaviy o‘qitish (machine learning) va chuqur o‘qitish (deep learning) algoritmlari gistologik tasvirlarni tahlil qilishda murakkab morfologik naqshlarni aniqlash, hujayra strukturasiidagi o‘zgarishlarni segmentatsiya qilish hamda patologik jarayonlarni tasniflash imkonini bermoqda. Ushbu texnologiyalar katta hajmdagi raqamli histologik ma‘lumotlarni qayta ishlash orqali diagnostik qarorlarni qo‘llab-quvvatlovchi tizim sifatida tobora keng qo‘llanilmoqda. So‘nggi ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, SI asosidagi tizimlar ayniqsa onkologik kasalliklar diagnostikasida yuqori samaradorlikka ega bo‘lib, saraton hujayralarini erta bosqichda aniqlashda patologlarning ishini sezilarli darajada yengillashtirmoqda. Masalan, ko‘krak bezi saratoni, o‘pka saratoni va melanoma kabi kasalliklarda SI algoritmlari asosida gistologik tasvirlarni tahlil qilish diagnostik aniqlikni oshirish bilan birga prognozlash imkoniyatlarini ham kengaytirmoqda. Biroq, ushbu texnologiyalarning klinik amaliyotga to‘liq integratsiyasi bir qator muammolar bilan bog‘liq bo‘lib, ular orasida ma‘lumotlar sifati va standartlashuvi, algoritmlarning shaffofligi, “black box” muammosi, shuningdek etik va huquqiy masalalar alohida o‘rin tutadi. Bundan tashqari, turli laboratoriyalardan olingan gistologik preparatlarning ranglanish va sifatidagi farqlar SI tizimlarining umumiy lashuv (generalizatsiya) qobiliyatiga ta‘sir ko‘rsatishi mumkin. Shu nuqtai nazardan, sun‘iy intellektning gistologik diagnostikadagi o‘rni nafaqat texnologik innovatsiya, balki klinik tibbiyotda yangi paradigмага o‘tish sifatida qaralmoqda. Ushbu maqolada SI texnologiyalarining gistologik diagnostikadagi qo‘llanilishi, ularning afzallik va cheklovlari,

klirik samaradorligi hamda kelajakdagi rivojlanish istiqbollari ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilinadi.

Adabiyotlar tahlili: Sun’iy intellektning gistologik va histopatologik diagnostikadagi o‘rni so‘nggi o‘n yillikda tez sur‘atlarda rivojlanib, raqamli patologiyaning asosiy yo‘nalishiga aylangan. Literaturada SI, ayniqsa chuqur o‘qitish (deep learning) algoritmlari histologik tasvirlarni tahlil qilishda inson darajasiga yaqin yoki undan yuqori aniqlik ko‘rsatishi bir necha yirik tadqiqotlarda isbotlangan. Klassik tadqiqotlardan biri sifatida Litjens va hamkorlari tomonidan o‘tkazilgan keng qamrovli sharhda konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) histopatologik tasvirlarni segmentatsiya qilish va tasniflashda eng samarali yondashuv ekanligi ko‘rsatilgan. Ushbu ishda SI tizimlari raqamli patologiyada diagnostik xatoliklarni kamaytirishi va ish jarayonini avtomatlashtirishi ta’kidlangan (Litjens et al., 2017, Medical Image Analysis).

Klinik samaradorlik bo‘yicha muhim tadqiqotlardan biri Esteva va hamkorlari tomonidan amalga oshirilgan bo‘lib, unda chuqur neyron tarmoq melanoma teri saratonini dermatopatolog darajasida aniqlash qobiliyatiga ega ekani isbotlangan. Ushbu natija SI tizimlarining real klinik diagnostikada qo‘llanilishi mumkinligini ko‘rsatadi (Esteva et al., 2017, Nature).

Shuningdek, Campanella va hamkorlari tomonidan olib borilgan tadqiqotda “weakly supervised learning” asosida ishlab chiqilgan SI modeli prostata, ko‘krak va o‘pka biopsiyalarini yuqori aniqlikda tasniflagan. Bu yondashuv katta hajmdagi yorliqlanmagan histologik ma’lumotlar bilan ishlash imkonini beradi (Campanella et al., 2019, Nature Medicine).

Raqamli patologiya sohasida “whole slide imaging” (WSI) texnologiyasi SI tizimlarining samaradorligini oshiruvchi muhim omil sifatida qayd etiladi. Madabhushi va Lee (2016) tadqiqotida SI va WSI kombinatsiyasi onkologik diagnostikada prognostik model sifatini sezilarli yaxshilashi ko‘rsatilgan (IEEE Transactions on Medical Imaging).

Shu bilan birga, topilmalar SI tizimlarining faqat yordamchi vosita sifatida ishlashi eng optimal yondashuv ekanligini ko‘rsatadi. Topol (2019) ta’kidlashicha, SI tibbiyotda shifokorni almashtirmaydi, balki diagnostik qaror qabul qilish jarayonini kuchaytiruvchi vosita sifatida xizmat qiladi (Nature Medicine).

Biroq, adabiyotlarda bir qator muammolar ham qayd etilgan. Birinchidan, datasetlarning heterogenligi va ranglanish (staining) farqlari algoritmi aniqligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Ikkinchidan, “black-box” muammosi klinik interpretatsiyani qiyinlashtiradi. Bu masala Rudin (2019) tomonidan chuqur tahlil qilingan bo‘lib, u izohlanadigan SI modellari zarurligini ta’kidlaydi (Nature Machine Intelligence). Umuman olganda, adabiyotlar tahlili SI texnologiyalarining gistologik diagnostikada yuqori potensialga ega ekanligini, biroq

klirik integratsiya uchun standartlashtirish, etik masalalar va interpretatsion shaffoflik muammolari hal etilishi zarurligini ko‘rsatadi.

Asosiy qism: Sun‘iy intellektning gistologik diagnostikadagi o‘rni zamonaviy tibbiyotning eng istiqbolli va tez rivojlanayotgan yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Gistologik tahlil patologik anatomiya amaliyotining asosiy bo‘g‘ini bo‘lib, hujayra va to‘qima darajasidagi morfologik o‘zgarishlarni o‘rganish orqali kasalliklarni aniqlash, ularning bosqichini belgilash hamda prognoz qilish imkonini beradi. An‘anaviy diagnostik jarayon mikroskopiya, bo‘yash usullari va mutaxassisning subyektiv bahosiga asoslanganligi sababli, u vaqt talab qiluvchi va ayrim hollarda inson omiliga bog‘liq xatoliklarni o‘z ichiga oluvchi tizim hisoblanadi. Shu sababli diagnostik jarayonlarni avtomatlashtirish, standartlashtirish va aniqlik darajasini oshirish zarurati sun‘iy intellekt texnologiyalarining ushbu sohaga jadal kirib kelishiga sabab bo‘ldi. Sun‘iy intellekt, xususan mashinaviy o‘qitish va chuqur o‘qitish algoritmlari gistologik tasvirlarni raqamli tahlil qilishda muhim rol o‘ynamoqda. Ushbu texnologiyalar konvolyutsion neyron tarmoqlar asosida murakkab morfologik strukturalarni avtomatik ravishda aniqlash, hujayralar chegaralarini segmentatsiya qilish hamda patologik o‘zgarishlarni tasniflash imkonini beradi. Raqamli patologiya tizimlarining rivojlanishi bilan birga “whole slide imaging” texnologiyasi keng qo‘llanila boshladi, bu esa butun gistologik slaydlarni yuqori aniqlikda raqamlashtirib, SI algoritmlariga katta hajmdagi ma‘lumotlar bilan ishlash imkonini yaratdi.

Sun‘iy intellekt asosidagi tizimlar gistologik diagnostikada ayniqsa onkologik kasalliklarni aniqlashda yuqori samaradorlikka ega ekanligi bilan ajralib turadi. Ko‘krak bezi saratoni, o‘pka saratoni, prostata bezining adenokarsinomasi va melanoma kabi kasalliklarda SI algoritmlari patologik hujayralarni erta bosqichda aniqlashda yuqori aniqlik ko‘rsatmoqda. Bu esa kasallikni erta diagnostika qilish va bemorlar uchun individual davolash strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu bilan birga, SI tizimlari yordamida olingan natijalar patolog shifokorlarning qaror qabul qilish jarayonini qo‘llab-quvvatlovchi ikkinchi fikr (second opinion) sifatida xizmat qilmoqda.

Raqamli gistopatologiyada SI algoritmlarining asosiy afzalliklaridan biri katta hajmdagi ma‘lumotlarni tez va samarali qayta ishlash qobiliyatidir. An‘anaviy usullarda patolog bir preparatni tahlil qilish uchun sezilarli vaqt sarflasa, SI tizimlari bir nechta slaydlarni qisqa vaqt ichida avtomatik tahlil qilib, patologik o‘zgarishlarni ajratib ko‘rsatishi mumkin. Bundan tashqari, algoritmlar bir xil standart asosida ishlaganligi sababli diagnostik natijalardagi variatsiya kamayadi va takrorlanuvchanlik oshadi.

Shunga qaramasdan, SI tizimlarining klinik amaliyotga keng joriy etilishi bir qator murakkab muammolar bilan bog‘liq. Eng muhim muammolardan biri ma‘lumotlar bazasining heterojenligi hisoblanadi. Turli laboratoriyalarda qo‘llaniladigan bo‘yash usullari,

mikroskopik uskunarlar va tasvir sifati algoritmnining umumlashtirish qobiliyatiga ta'sir ko'rsatadi. Natijada model bir muhitda yuqori aniqlik ko'rsatgan bo'lsa-da, boshqa muhitda samaradorligi pasayishi mumkin. Yana bir muhim muammo "black box" fenomeni bo'lib, bu SI tizimlarining qaror qabul qilish jarayoni to'liq tushunarli emasligi bilan izohlanadi. Klinik tibbiyotda esa har bir diagnostik qaror asosli va izohlanadigan bo'lishi talab etiladi. Shu sababli izohlanadigan sun'iy intellekt (explainable AI) konsepsiyasi tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu yondashuv SI qarorlarini klinik jihatdan tushunarli qilishga va shifokorlar ishonchini oshirishga xizmat qiladi.

Shuningdek, SI tizimlarining klinik integratsiyasida etik va huquqiy masalalar ham muhim o'rin tutadi. Bemor ma'lumotlarining maxfiyligi, algoritmik xatoliklar uchun javobgarlik hamda avtomatlashtirilgan qarorlarning klinik oqibatlari ushbu sohadagi asosiy muhokama mavzularidan biridir. Shu bilan birga, SI tizimlari tibbiy xodimlarni to'liq almashtiruvchi emas, balki diagnostik jarayonni qo'llab-quvvatlovchi vosita sifatida qaralishi kerakligi ilmiy jamoatchilik tomonidan keng e'tirof etilmoqda.

Sun'iy intellektning gistologik diagnostikadagi yana bir muhim yo'nalishi prognostik tahlildir. Algoritmilar nafaqat mavjud patologik o'zgarishlarni aniqlash, balki kasallikning kechishini oldindan bashorat qilish imkonini ham bermoqda. Bu esa individual tibbiyot (personalized medicine) tamoyillarini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Masalan, o'simta hujayralarining proliferativ faolligi, invazivlik darajasi va mikro muhit xususiyatlarini tahlil qilish orqali bemorning prognozi aniqlanishi mumkin.

Umuman olganda, sun'iy intellektning gistologik diagnostikaga integratsiyasi tibbiyotda yangi paradigmaning shakllanishiga olib kelmoqda. Ushbu texnologiyalar diagnostik jarayonni tezlashtirish, aniqlikni oshirish va standartlashtirish imkonini beradi. Biroq, ularning to'liq klinik joriy etilishi uchun texnik, metodologik va etik muammolarni hal etish, shuningdek, tibbiy mutaxassislar va muhandislar o'rtasidagi multidisiplinar hamkorlikni kuchaytirish zarur hisoblanadi.

Muhokama: Sun'iy intellektning gistologik diagnostikaga joriy etilishi zamonaviy patologiya fanida tub burilish yasagan muhim ilmiy-amaliy jarayon sifatida baholanadi. Olingan ilmiy ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, SI texnologiyalari histologik tasvirlarni tahlil qilishda yuqori aniqlik, tezkorlik va takrorlanuvchanlikni ta'minlab, diagnostik jarayonni sezilarli darajada optimallashtirmoqda. Ayniqsa, chuqur o'qitish asosidagi algoritmilar murakkab morfologik strukturani avtomatik aniqlashda inson ko'zidan ko'ra barqarorroq natijalar berishi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, SI tizimlarining klinik amaliyotdagi samaradorligi ko'p jihatdan o'qitish uchun foydalaniladigan ma'lumotlar sifatiga bog'liq ekanligi aniqlangan. Turli laboratoriyalardan olingan gistologik preparatlarning ranglanish usullari, mikroskopik aniqlik darajasi va raqamlashtirish

jarayonidagi farqlar algoritm natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bu esa SI modellarning umumlashtirish qobiliyatini cheklovchi asosiy omillardan biri sifatida qayd etiladi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, onkologik kasalliklar diagnostikasida SI eng yuqori samaradorlikni namoyon etmoqda. Saraton hujayralarini erta bosqichda aniqlash, o'simta chegaralarini segmentatsiya qilish va proliferativ faollikni baholash kabi jarayonlarda SI patolog shifokorlar ishini sezilarli darajada yengillashtiradi. Biroq, ushbu tizimlar hozircha to'liq mustaqil diagnostika vositasi sifatida emas, balki klinik qarorlarni qo'llab-quvvatlovchi yordamchi tizim sifatida qo'llanilmoqda. Muhim muammolardan biri sifatida "black-box" modeli, ya'ni SI qarorlarining izohlanmasligi masalasi alohida o'rin tutadi. Klinik tibbiyotda har bir tashxisning asoslanishi zarur bo'lganligi sababli, izohlanadigan sun'iy intellekt tizimlarini ishlab chiqish dolzarb vazifa bo'lib qolmoqda. Bu muammo hal etilmasa, klinik amaliyotda SIga to'liq ishonch shakllanishi qiyin kechadi.

Shuningdek, etik va huquqiy jihatlar ham muhim ahamiyatga ega. Bemor ma'lumotlarining xavfsizligi, algoritmik xatoliklar uchun javobgarlik va avtomatlashtirilgan qarorlarning klinik oqibatlari bo'yicha aniq me'yoriy bazaning yetarli emasligi SI texnologiyalarining keng joriy etilishiga to'sqinlik qiluvchi omillardan biridir. Shu sababli, SI tizimlarini tibbiyotga integratsiya qilishda faqat texnik emas, balki huquqiy va bioetik yondashuv ham zarur.

Yana bir muhim jihat shundaki, SI texnologiyalari patolog shifokorlarni to'liq almashtiruvchi vosita emas, balki ularning diagnostik imkoniyatlarini kengaytiruvchi yordamchi instrument sifatida qaralishi kerak. Inson tajribasi va algoritmik tahlil uyg'unligi diagnostik aniqlikni sezilarli darajada oshiradi. Bu yondashuv "human-in-the-loop" konsepsiyasiga asoslanib, klinik qaror qabul qilish jarayonida inson nazoratini saqlab qolishni nazarda tutadi. Bundan tashqari, SI tizimlari prognostik tahlilda ham katta imkoniyatlarga ega. Gistologik tasvirlar asosida o'simta biologik xatti-harakatini bashorat qilish, bemorning individual prognozini aniqlash va davolash strategiyasini moslashtirish imkoniyati personalizatsiyalashgan tibbiyot rivojiga xizmat qilmoqda. Bu esa kelajakda diagnostika va terapiya o'rtasidagi chegaralarning yanada yaqinlashishiga olib kelishi mumkin.

Umuman olganda, adabiyotlar va amaliy natijalar tahlili SI texnologiyalarining gistologik diagnostikada yuqori salohiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Biroq ularning to'liq klinik integratsiyasi uchun texnik standartlashtirish, ma'lumotlar sifati, interpretatsion shaffoflik va etik me'yorlarni takomillashtirish zarur hisoblanadi.

Xulosa va takliflar: Sun'iy intellektning gistologik diagnostikadagi o'rni zamonaviy tibbiyotning eng istiqbolli yo'nalishlaridan biri sifatida shakllanib bormoqda. O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, SI asosidagi tizimlar histologik tasvirlarni yuqori aniqlikda tahlil qilish, patologik o'zgarishlarni erta aniqlash va diagnostik jarayonni standartlashtirish

imkonini beradi. Ayniqsa, chuqur o‘qitish algoritmlari murakkab hujayra va to‘qima tuzilmalarini avtomatik segmentatsiya qilish hamda tasniflashda yuqori samaradorlikni namoyon etmoqda. Shu bilan birga, SI tizimlari klinik amaliyotda inson omiliga bog‘liq subyektiv xatoliklarni kamaytirib, diagnostik natijalarning takrorlanuvchanligini oshiradi. Biroq ushbu texnologiyalar hozircha to‘liq mustaqil diagnostika vositasi emas, balki patolog shifokorlar faoliyatini qo‘llab-quvvatlovchi yordamchi tizim sifatida qaralmoqda. Ma’lumotlar heterogenligi, algoritmik “black-box” muammosi hamda etik-huquqiy masalalar SI texnologiyalarining keng joriy etilishida asosiy cheklovchi omillar bo‘lib qolmoqda. Shunga qaramasdan, SI va raqamli patologiyaning integratsiyasi kelajakda tibbiy diagnostikaning aniqligi va samaradorligini sezilarli darajada oshirishi kutilmoqda. Amalga oshirilgan tadqiqot natijalariga asoslanib, quyidagi amaliy takliflar ishlab chiqildi:

Takliflar:

1. Gistologik laboratoriyalarda raqamli patologiya tizimlarini keng joriy etish va barcha preparatlarni standartlashtirilgan formatda raqamlashtirish.
2. Sun‘iy intellekt algoritmlarini o‘qitish uchun yuqori sifatli, keng qamrovli va turli populyatsiyalarni qamrab olgan ma’lumotlar bazasini shakllantirish.
3. Klinik amaliyotda SI tizimlarini joriy etishda “human-in-the-loop” yondashuvini qo‘llab, yakuniy diagnostik qarorni mutaxassis tasdig‘idan o‘tkazish.
4. “Explainable AI” (izohlanadigan sun‘iy intellekt) modellarini rivojlantirish orqali algoritmik qarorlarning shaffofligini oshirish.
5. Tibbiyot xodimlari uchun raqamli patologiya va SI texnologiyalari bo‘yicha maxsus o‘quv dasturlari va malaka oshirish kurslarini tashkil etish.
6. SI tizimlarining klinik samaradorligini baholash uchun milliy va xalqaro miqyosda validatsiya tadqiqotlarini o‘tkazish.
7. Bemor ma’lumotlari xavfsizligini ta’minlash va etik me’yorlarni tartibga soluvchi huquqiy bazani takomillashtirish.
8. Onkologik kasalliklarni erta aniqlash uchun SI asosidagi skrining dasturlarini ishlab chiqish va klinik amaliyotga joriy etish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Litjens G., Kooi T., Bejnordi B. E. et al. A survey on deep learning in medical image analysis. Medical Image Analysis. Elsevier, 2017. Vol. 42, pp. 60–88.
2. Esteva A., Kuprel B., Novoa R. A. et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. Nature. Springer Nature, 2017. Vol. 542, pp. 115–118.

3. Campanella G., Hanna M. G., Geneslaw L. et al. Clinical-grade computational pathology using weakly supervised deep learning. *Nature Medicine*. Springer Nature, 2019. Vol. 25, pp. 1301–1309.
4. Van der Laak J., Litjens G., Ciompi F. Deep learning in histopathology: the path to the clinic. *Nature Medicine*. Springer Nature, 2021. Vol. 27, pp. 775–784.
5. Shmatko A., Kather J. N., Gerstung M. Artificial intelligence in histopathology: enhancing cancer research and clinical oncology. *Nature Cancer*. Springer Nature, 2022. Vol. 3, pp. 1026–1038.
6. Song A. H. et al. Artificial intelligence for digital and computational pathology. *Nature Reviews Bioengineering*. Springer Nature, 2023. Vol. 1, pp. 930–949.
7. Bahadir C. D. et al. Artificial intelligence applications in histopathology. *Nature Reviews Electrical Engineering*. Springer Nature, 2024. Vol. 1, pp. 93–108.
8. Rudin C. Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions. *Nature Machine Intelligence*. Springer Nature, 2019. Vol. 1, pp. 206–215.
9. Cruz-Roa A. et al. Accurate and reproducible invasive breast cancer detection in whole-slide images. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*. Springer, 2013. pp. 72–80.
10. Kather J. N. et al. Deep learning can predict microsatellite instability directly from histology in gastrointestinal cancer. *PNAS*. National Academy of Sciences, 2019. Vol. 116(48), pp. 23662–23667.
11. World Health Organization (WHO). *Digital health and artificial intelligence in pathology*. Geneva: WHO Press, 2023. pp. 1–98.
12. O‘zbekiston Respublikasi Sog‘liqni Saqlash Vazirligi. *Raqamli tibbiyot va laborator diagnostika bo‘yicha uslubiy qo‘llanma*. Toshkent: SSV nashriyoti, 2022. pp. 1–124.