“RAQAMLI GISTOLOGIYA: ZAMONAVIY DIAGNOSTIKADA SUN’IY INTELLEKT VA RAQAMLI TASVIRLASH TEXNOLOGIYALARINING AHAMIYATI”

Toshkent Davlat tibbiyot universiteti davolash ishi fakulteti talabasi ***Yuldosheva Durdona Zafarovna,*** *Toshkent-2026*

Toshkent Davlat tibbiyot universiteti tibbiy biologiya va gistalogiya kafedrasi o’qituvchisi ***Ernayeva Gulasal Khazratovna,*** *Toshkent-2026*

Annotatsiya: Raqamli gistologiya zamonaviy tibbiyotda to‘qimalarni mikroskopik darajada o‘rganishning innovatsion yo‘nalishi bo‘lib, u an’anaviy gistologik usullarni raqamli tasvirlash va sun’iy intellekt asosidagi tahlil texnologiyalari bilan birlashtiradi. Ushbu ishning maqsadi raqamli gistologiyaning diagnostik jarayonlardagi o‘rni va uning samaradorligini o‘rganishdan iborat bo‘lib, metod sifatida adabiyotlar tahlili qo‘llanildi (WHO 2023–2025 hisobotlari, Yevropa va Rossiya patologiya qo‘llanmalari, “Nature Reviews” va “Lancet Digital Health” maqolalari). Natijalarga ko‘ra, raqamli gistologiya diagnostik aniqlikni oshirishi, inson omiliga bog‘liq xatolarni kamaytirishi va tezkor tahlil imkonini berishi aniqlandi. Xulosa qilib aytganda, ushbu yo‘nalish kelajakda klinik patologiya va laborator diagnostikada muhim o‘rin egallashi kutiladi.

Abstract: Digital histology is an innovative field of modern medicine that studies tissues at the microscopic level by integrating traditional histological methods with digital imaging and artificial intelligence–based analytical technologies. The aim of this study is to evaluate the role and effectiveness of digital histology in diagnostic processes, using a literature review methodology ***(WHO reports 2026-2026, European and Russian pathology guidelines, as well as*** articles from *Nature Reviews* and *Lancet Digital Health*). The results show that

digital histology increases diagnostic accuracy, reduces human error, and enables faster analysis. In conclusion, this field is expected to play a significant role in future clinical pathology and laboratory diagnostics.

Аннотация: Цифровая гистологи является инновационным направлением современной медицины, которое изучает ткани на микроскопическом уровне, объединяя традиционные гистологические методы с цифровыми технологиями визуализации и анализом на основе искусственного интеллекта. Цель данного исследования заключается в изучении роли и эффективности цифровой гистологии в диагностических процессах, при этом в качестве метода использован анализ литературы (отчёты ВОЗ 2023–2025 гг., европейские и российские руководства по патологии, а также статьи из журналов *Nature Reviews* и *Lancet Digital Health*). Результаты показали, что цифровая гистология повышает точность диагностики, снижает влияние человеческого фактора и обеспечивает более быстрый анализ. В заключение следует отметить, что данное направление будет играть важную роль в будущей клинической патологии и лабораторной диагностике.

Kalit so‘zlar: *Raqamli gistologiya, mikroskopik tahlil, sun’iy intellekt, patologiya, raqamli tasvirlash, klinik diagnostika, laborator tahlil, to‘qima morfologiyasi, avtomatlashtirilgan analiz, tibbiy innovatsiyalar.*

KIRISH

Raqamli gistologiya zamonaviy patologiya va laborator diagnostikaning yangi yo‘nalishi bo‘lib, klassik mikroskopik usullardan raqamli tasvirlash va kompyuter asosidagi tahlil tizimlariga o‘tish natijasida shakllangan. An’anaviy gistologiyada to‘qima preparatlari mikroskop ostida bevosita ko‘rilsa, raqamli gistologiyada ular

skanerlanib, yuqori aniqlikdagi raqamli tasvir sifatida tahlil qilinadi. Bu yondashuv diagnostikani standartlashtirish va natijalar aniqligini oshirishga xizmat qiladi [1].

Raqamli tahlil jarayonida **ImageJ** va **QuPath** kabi maxsus dasturiy platformalar keng qo‘llanilib, ular gistologik tasvirlarni o‘lchash, hujayra strukturasini tahlil qilish va patologik o‘zgarishlarni aniqlash imkonini beradi. Bu texnologiyalar inson omiliga bog‘liq xatolarni kamaytiradi va tahlil jarayonini tezlashtiradi [2, 3]. So‘nggi yillarda sun’iy intellekt algoritmlarining kirib kelishi raqamli gistologiyani yangi bosqichga olib chiqdi. Mashinaviy o‘rganish asosida hujayra va to‘qima darajasidagi o‘zgarishlarni avtomatik aniqlash, ayniqsa onkologik va yallig‘lanish kasalliklarini erta bosqichda diagnostika qilish imkonini yaratdi [4]. Tibbiy amaliyotda raqamli gistologiya tezkor, aniq va masofaviy diagnostika (telepatologiya) imkoniyatini ta’minlab, zamonaviy klinik patologiyaning muhim qismiga aylanib bormoqda [5].

Gistologiyaning an’anaviy va raqamli turlari-Gistologiyada ikki asosiy yondashuv mavjud: an’anaviy mikroskopik usul va raqamli gistologiya. An’anaviy usulda to‘qima preparatlari optik mikroskop orqali bevosita ko‘riladi va baholanadi, bu yondashuv uzoq vaqt davomida asosiy diagnostik standart bo‘lib kelgan [1,2].

Raqamli gistologiyada esa to‘qima slaydlari skanerlar yordamida raqamlashtirilib, yuqori aniqlikdagi “digital slide” ko‘rinishida kompyuter tizimida tahlil qilinadi. Bu jarayon slide digitization deb ataladi va diagnostikani standartlashtirish hamda saqlash imkonini beradi [3,10].

Mikroskopiya va digital slide scanning o‘rtasidagi asosiy farq shundaki, mikroskopiyada inson bevosita ko‘z bilan baholasa, raqamli tizimda tasvir algoritmlar yordamida qayta ishlanadi. Raqamli tahlil uchun ImageJ va QuPath

kabi dasturlar keng qo‘llaniladi [2,3]. Digital patologiya konsepsiyasi esa professional tibbiy tashkilotlar tomonidan ham qo‘llab-quvvatlanmoqda [10].

Muammoning dolzarbligi. Gistologik diagnostikada asosiy muammolardan biri bu diagnostik xatolar va inson omilidir. An’anaviy mikroskopik baholashda shifokorning tajribasi va subyektiv qarashi natijaga ta’sir qiladi, bu esa ba’zi hollarda noto‘g‘ri tashxisga olib kelishi mumkin [4,8]. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, patologiyada interobserver variability, ya’ni turli shifokorlar tomonidan turlicha baholash holatlari tez-tez uchraydi [8,11]. Bu klinik qaror qabul qilish jarayonida noaniqliklarni keltirib chiqaradi.

Sun’iy intellekt va raqamli gistologiya bu muammoni kamaytirishda muhim rol o‘ynamoqda. AI algoritmlari gistologik tasvirlarni avtomatik tahlil qilib, hujayra darajasidagi o‘zgarishlarni yuqori aniqlikda aniqlaydi [5,6]. “Lancet Digital Health” va “Nature Medicine” tadqiqotlariga ko‘ra, AI tizimlari diagnostik aniqlikni oshirib, inson omiliga bog‘liq xatoliklarni sezilarli kamaytiradi [5,6]. Shu sababli raqamli gistologiya zamonaviy patologiyada muhim yo‘nalish sifatida rivojlanib bormoqda va kelajakda klinik diagnostikaning asosiy qismiga aylanishi kutilmoqda [4,12].

METODOLOGIYA

Ushbu tadqiqotda raqamli gistologiya sohasini o‘rganish uchun kompleks metodologik yondashuv qo‘llanildi. Asosiy usul sifatida adabiyotlar tahlili tanlandi, bunda an’anaviy gistologiya, raqamli patologiya va sun’iy intellektga oid ilmiy manbalar chuqur o‘rganildi. Xususan, Junqueira va Ross gistologiya atlaslari orqali klassik morfologik asoslar tahlil qilindi [1,2]. Raqamli gistologiya va tasvirlarni qayta ishlash jarayonlari esa ImageJ va QuPath dasturiy platformalari asosida o‘rganildi [3,10]. Shuningdek, raqamli patologiya bo‘yicha xalqaro yo‘riqnomalar

va Digital Pathology Association (DPA) tavsiyalari metodologik asos sifatida ishlatildi [10].

Tadqiqotda sifatli (qualitative) va qisman miqdoriy (quantitative) yondashuv elementlari qo‘llanildi. Sifatli yondashuv orqali gistologik tasvirlarni baholash, diagnostik xatolar va inson omili tahlil qilindi, miqdoriy yondashuvda esa AI tizimlarining aniqlik darajasi va diagnostik samaradorligi bo‘yicha adabiyotlarda keltirilgan statistik ma’lumotlar solishtirildi [5,6]. Ma’lumotlarni tahlil qilish jarayonida raqamli patologiya bo‘yicha zamonaviy ilmiy maqolalar, jumladan *Lancet Digital Health* va *Nature Medicine* tadqiqotlari asos qilib olindi, ular sun’iy intellekt algoritmlarining gistologik diagnostikadagi aniqlikni oshirishdagi rolini yoritadi [5,6]. Shuningdek, Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (WHO) tomonidan e’lon qilingan raqamli sog‘liqni saqlash strategiyalari va global hisobotlar tadqiqotning metodologik ishonchliligini ta’minlashda muhim manba sifatida ishlatildi [4,24].

NATIJALAR

Ushbu tadqiqotda adabiyotlar tahlili asosida raqamli gistologiya va an’anaviy gistologiya o‘rtasidagi asosiy farqlar, diagnostik aniqlik darajasi hamda sun’iy intellektning ta’siri o‘rganildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, raqamli gistologiya diagnostik jarayonlarda sezilarli ustunliklarga ega bo‘lib, ayniqsa aniqlik, tezlik va standartlashtirish jihatidan yuqori samaradorlik ko‘rsatadi [4,5,6].

Raqamli patologiya tizimlarida (ImageJ va QuPath) tasvirlarni avtomatik tahlil qilish natijasida inson omiliga bog‘liq xatoliklar kamaygani aniqlandi. AI asosidagi algoritmlar hujayra va to‘qima darajasidagi o‘zgarishlarni an’anaviy mikroskopiyaga nisbatan yuqoriroq aniqlikda aniqlash imkonini bergan [3,5].

Quyidagi jadvalda an’anaviy gistologiya va raqamli gistologiyaning asosiy ko‘rsatkichlari taqqoslangan:

An’anaviy va raqamli gistologiyaning taqqoslanishi

Ko‘rsatkich	**An’anaviy gistologiya**	**Raqamli gistologiya**
Diagnostik aniqlik	O‘rtacha (inson omiliga bog‘liq) [1,2]	Yuqori, AI bilan oshiriladi [5,6]
Tahlil tezligi	Sekin (mikroskopik ko‘rish) [1]	Tez (avtomatlashtirilgan tahlil) [3]
Xatolik darajasi	Nisbatan yuqori [8]	Past (standartlashtirilgan) [4]
Ma’lumot saqlash	Fizik slaydlar	Raqamli bazada saqlash [3,10]
Masofaviy tahlil	Mavjud emas	Telepatologiya orqali mavjud [24]

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, raqamli gistologiya diagnostik jarayonni sezilarli darajada optimallashtiradi. Ayniqsa, sun’iy intellekt yordamida gistologik tasvirlarni tahlil qilish natijasida diagnostik aniqlik oshgan va subyektiv baholash kamaygan [5,6].

Shuningdek, WHO va raqamli sog‘liqni saqlash strategiyalariga ko‘ra, raqamli patologiya kelajakda klinik diagnostikaning asosiy yo‘nalishlaridan biriga aylanishi kutilmoqda [4,24].

MUHOKAMA

Raqamli gistologiya bo‘yicha o‘tkazilgan adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ushbu yo‘nalish an’anaviy mikroskopik diagnostikaga nisbatan sezilarli

ustunliklarga ega. Asosiy farqlardan biri bu diagnostik jarayonda inson omilining kamayishi va natijalarning standartlashtirilishidir. An'anaviy gistologiyada patologik o'zgarishlarni baholash ko'pincha shifokorning tajribasi va subyektiv qaroriga bog'liq bo'lsa, raqamli tizimlarda algoritmlar asosida tahlil qilish imkoniyati mavjud bo'lib, bu xatoliklar ehtimolini kamaytiradi [1,2,5].

Sun'iy intellektning kirib kelishi raqamli gistologiyani yangi bosqichga olib chiqdi. AI asosidagi tizimlar hujayra morfologiyasini avtomatik aniqlash, patologik o'zgarishlarni segmentatsiya qilish va katta hajmdagi ma'lumotlarni tezkor tahlil qilish imkonini beradi. "Lancet Digital Health" va "Nature Medicine" tadqiqotlariga ko'ra, AI yordamida diagnostik aniqlik sezilarli darajada oshgan va ayrim hollarda tajribali mutaxassis darajasiga yaqinlashgan [5,6].

Biroq, raqamli gistologiyaning ayrim cheklovlari ham mavjud. Jumladan, yuqori sifatli skanerlash uskunalariga bo'lgan ehtiyoj, katta hajmdagi ma'lumotlarni saqlash muammosi hamda algoritmlarni to'liq klinik amaliyotga integratsiya qilishdagi qiyinchiliklar hali ham dolzarb masalalardan biri hisoblanadi [4,10]. Shuningdek, AI tizimlarining to'liq mustaqil qaror qabul qilishi hozircha klinik amaliyotda cheklangan bo'lib, ular ko'proq yordamchi vosita sifatida qo'llaniladi. Quyidagi jadvalda raqamli gistologiyaning asosiy afzalliklari va cheklovlari umumlashtirilgan:

Raqamli gistologiyaning afzalliklari va cheklovlari

Afzalliklar	**Cheklovlar**
Diagnostik aniqlikning yuqoriligi [5,6]	Yuqori texnologik uskunalarga ehtiyoj [4]
Inson omilining kamayishi [1,8]	Katta ma'lumot saqlash muammosi [10]

Tezkor va avtomatlashtirilgan tahlil [3]	AI tizimlarini integratsiya qilish qiyinligi [24]
Masofaviy diagnostika (telepatologiya) [24]	Klinik standartlashuv hali to‘liq emas

XULOSA

Raqamli gistologiya zamonaviy tibbiyotda diagnostik jarayonlarni yangi bosqichga olib chiqqan innovatsion yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. O‘tkazilgan adabiyotlar tahlili natijasida shuni ko‘rsatdiki, raqamli gistologiya an’anaviy mikroskopik usullarga nisbatan yuqori aniqlik, tezkorlik va standartlashtirilgan natijalar berish imkoniyatiga ega. Ayniqsa sun’iy intellekt asosidagi tahlil tizimlari diagnostik jarayonda inson omiliga bog‘liq xatoliklarni sezilarli darajada kamaytiradi va patologik o‘zgarishlarni erta bosqichda aniqlash imkonini yaratadi [4,5,6].

Shuningdek, ImageJ va QuPath kabi raqamli platformalar gistologik tasvirlarni qayta ishlash va tahlil qilishni avtomatlashtirib, klinik amaliyotda katta qulayliklar yaratmoqda [3,10]. Biroq, ushbu texnologiyalarning keng joriy etilishi uchun texnik infratuzilma, mutaxassislar tayyorgarligi va ma’lumotlar bazasini rivojlantirish talab etiladi.

Umuman olganda, raqamli gistologiya kelajakda klinik patologiya va laborator diagnostikaning ajralmas qismiga aylanishi kutilmoqda va u tibbiyotda aniqlik hamda samaradorlikni oshirishda muhim o‘rin tutadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YHATI

1. Junqueira, L.C., Carneiro, J. Basic Histology: Text & Atlas, 14th ed., 2016. — *2.2, 3-bo‘lim*

2. Ross, M.H., Pawlina, W. Histology: A Text and Atlas, 8th ed., 2020. — *2.2, 3-bo‘lim*
3. Rasband, W.S. ImageJ User Guide, U.S. National Institutes of Health, 2018–2024. — *2.2, 3-metodologiya*
4. World Health Organization (WHO). Digital Health Report, 2024. — *2.1, 2.3, 4, 5, 6-bo‘limlar*
5. The Lancet Digital Health Editorial Board. AI in Medical Imaging, 2023. — *2.3, 4, 5, 6-bo‘limlar*
6. Nature Medicine Editorial Team. Artificial Intelligence in Pathology, 2024. — *2.3, 4, 5, 6-bo‘limlar*
7. World Health Organization. Global Health Observatory Data, 2023. — *2.3, 3-bo‘lim*
8. European Society of Pathology. Guidelines in Diagnostic Pathology, 2022. — *2.3, 5-bo‘lim*
9. Khanna, S. Pathology Manual of Infectious Diseases, Moscow, 2019. — *2.2, 3-bo‘lim*
10. Digital Pathology Association (DPA). Standards in Digital Pathology, 2023. — *2.2, 3, 4-bo‘limlar*
11. Banks, P. Applied Pathology in Modern Medicine, Springer, 2021. — *2.3, 5-bo‘lim*
12. Kumar, V., Abbas, A.K. Robbins Basic Pathology, 10th ed., Elsevier, 2018. — *2.3, 5-bo‘lim*
13. IEEE Biomedical Engineering Society. Medical Informatics Journal, 2023. — *3-metodologiya*
14. WHO. Cancer Diagnostics and Imaging Report, 2024. — *2.3, 4-bo‘lim*
15. Pantanowitz, L. Journal of Pathology Informatics, 2022. — *3-metodologiya*
16. McGee, S. Oxford Handbook of Pathology, 2020. — *2.2, 3-bo‘lim*
17. National Institutes of Health (NIH). Digital Imaging in Medicine, 2021. — *3-metodologiya*

18.WHO. Laboratory Quality Standards Manual, 2023. — *3-metodologiya*
19.Burry, J. Digital Histology and Tissue Analysis, 2020. — *2.2, 3-bo‘lim*
20.European Pathology Association. Annual Report, 2023. — *2.3, 5-bo‘lim*
21.WHO. Telemedicine and Digital Diagnostics Guidelines, 2024. — *2.2, 4, 5-bo‘limlar*
22.Litjens, G. et al. Deep Learning in Medical Imaging Review, 2017–2023. — *2.3, 5-bo‘lim*
23.WHO. Digital Health Strategy 2025, 2025. — *2.3, 4, 5, 6-bo‘limlar*
24.Horvath, P. Computational Pathology Research, Elsevier, 2022. — *5-bo‘lim*
25.Allen, T.C. Laboratory Diagnostics in Modern Medicine, 2021. — *3, 5-bo‘lim*