



TIBBIYOTDA SUN'IY INTELLEKT VA ROBOTOTEXNIKA: DIAGNOSTIKA VA DAVOLASH JARAYONLARINI OPTIMALLASHTIRISH YO'LLARI

Jo'raqulova Nozila Yo'lchi qizi

Samarqand davlat tibbiyot universiteti

Davolash ishi fakulteti talabasi

nozilajoraqulova@gmail.com

Ilmiy rahbar: Abduqodirov Nuriddin Faxriddin o'g'li

Samarqand davlat tibbiyot universiteti assistenti

abduqodirovnuriddin295@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada sun'iy intellekt (SI) va tibbiy robototexnikaning diagnostika hamda davolash jarayonlarini optimallashtirishdagi o'rni tahlil qilingan. 2016–2025-yillarda yuqori reytingli xalqaro jurnallarda chop etilgan klinik tadqiqotlar, tizimli sharhlar va rasmiy statistik ma'lumotlar qiyosiy-tahliliy usulda o'rganildi. Chuqur o'qitish algoritmlari oftalmologiya, dermatologiya, kardiologiya va onkologik skriningda mutaxassislar darajasidagi aniqlikka (AUC 0,93–0,99) erishgani, mammografik skriningda esa rentgenolog yuklamasini 44% ga kamaytirgani ko'rsatildi. Robot yordamidagi jarrohlik amaliyotlari soni 2019–2025-yillarda 2,6 barobarga oshib, o'rtacha yillik o'sish sur'ati 17,0% ni tashkil etgani aniqlandi. Tahlil natijalari asosida diagnostika–davolash–reabilitatsiya zanjirida SI va robotlashtirilgan tizimlarni bosqichma-bosqich joriy etish modeli hamda O'zbekiston sog'liqni saqlash tizimi uchun amaliy takliflar ishlab chiqildi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, chuqur o'qitish, tibbiy robototexnika, robot yordamidagi jarrohlik, kompyuterli diagnostika, raqamli sog'liqni saqlash, klinik qarorlarni qo'llab-quvvatlash.

KIRISH



XXI asrning ikkinchi choragida sog'liqni saqlash tizimlari bir vaqtning o'zida bir nechta murakkab muammoga duch kelmoqda: aholining qarishi va surunkali kasalliklar ulushining ortishi, tibbiy tasvirlar va laboratoriya ma'lumotlari hajmining keskin ko'payishi, malakali mutaxassislar yetishmasligi hamda tibbiy xizmatlar narxining o'sishi. Bunday sharoitda shifokorning ma'lumotlarni qayta ishlash imkoniyati cheklangan resursga aylanadi, diagnostik xatolar va kechikishlar esa davolash natijalariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Aynan shu sababli sun'iy intellekt va robototexnika zamonaviy tibbiyotda nafaqat texnologik yangilik, balki klinik jarayonlarni optimallashtirishning amaliy vositasi sifatida qaralmoqda¹.

Sun'iy intellekt deganda tibbiyotda, asosan, katta hajmdagi ma'lumotlar asosida o'qitilgan va tasvir, signal yoki matndan klinik ahamiyatga ega belgilarni avtomatik ajratib oluvchi algoritmlar, birinchi navbatda chuqur neyron tarmoqlar tushuniladi. Tibbiy robototexnika esa jarrohlik manipulyatsiyalarini yuqori aniqlik bilan bajarishga, bemorni reabilitatsiya qilishga va klinik logistikani avtomatlashtirishga mo'ljallangan elektromexanik tizimlarni qamrab oladi. Ikkala yo'nalishning birlashuvi "aqlli" jarrohlik platformalari, tasvir bilan boshqariladigan intervension tizimlar va moslashuvchan reabilitatsiya komplekslarini vujudga keltirdi².

O'zbekiston Respublikasida ushbu yo'nalish davlat siyosatining ustuvor vazifalaridan biri sifatida belgilangan. "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasi³ hamda 2030-yilgacha sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish strategiyasi⁴ ijtimoiy soha, jumladan, sog'liqni saqlashda raqamli yechimlarni keng qo'llash uchun huquqiy asos yaratdi. Amaliyotda ham sezilarli qadamlar qo'yilmoqda: respublika klinikalarida robot yordamidagi operatsiyalar amalga oshirilmoqda, 2026-

¹ World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. – Geneva: WHO, 2021. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>

² Yang G.-Z., Cambias J., Cleary K. et al. Medical robotics – Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy // Science Robotics. – 2017. – Vol. 2, № 4. – eaam8638.

³ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son «"Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi Farmoni // Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi. – URL: <https://lex.uz>

⁴ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi PQ-358-son «2030-yilgacha sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi qarori // Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi. – URL: <https://lex.uz/docs/7158606>



yil may oyida esa akad. V. Vohidov nomidagi Respublika ixtisoslashtirilgan xirurgiya ilmiy-amaliy tibbiyot markazida mamlakatda birinchi masofaviy robot jarrohlik amaliyoti o'tkazildi⁵.

Shu bilan birga, SI va robototexnikani klinik amaliyotga joriy etish samaradorligi, uning qaysi bosqichlarda eng katta natija berishi hamda mavjud cheklovlar haqidagi ma'lumotlar tarqoq holda. Mazkur tadqiqotning **maqsadi** – xalqaro klinik tadqiqotlar va statistik ma'lumotlarni tahlil qilish asosida sun'iy intellekt va robototexnika yordamida diagnostika hamda davolash jarayonlarini optimallashtirish yo'llarini aniqlash va ularni milliy sog'liqni saqlash tizimiga joriy etish bo'yicha takliflar ishlab chiqishdan iborat. Maqsadga erishish uchun quyidagi **vazifalar** belgilandi: SI asosidagi diagnostik tizimlarning aniqlik ko'rsatkichlarini qiyosiy baholash; robot yordamidagi jarrohlikning rivojlanish dinamikasini tahlil qilish; texnologiyalarni joriy etishdagi asosiy to'siqlarni aniqlash; diagnostika–davolash–reabilitatsiya zanjiri uchun integratsiya modelini taklif etish.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR TAHLILI

Tibbiyotda sun'iy intellekt bo'yicha ilmiy adabiyotlarni shartli ravishda uch guruhga ajratish mumkin. Birinchi guruhni algoritmlarning diagnostik aniqligini mutaxassislar bilan taqqoslagan retrospektiv tadqiqotlar tashkil etadi. V. Gulshan va hammualliflari ko'z tubi fotosuratlarini bo'yicha diabetik retinopatiyani aniqlovchi chuqur o'qitish algoritmi oftalmologlar darajasidagi aniqlikka erishganini ko'rsatgan⁶. A. Esteva va boshqalar teri saratonini tasniflashda konvolyutsion neyron tarmoq 21 nafar sertifikatlangan dermatolog bilan teng natija qayd etganini isbotlagan⁷. Kardiologiyada A.Y. Hannun va hammualliflari ambulator EKG bo'yicha aritmiyalarni aniqlashda algoritmi kardiologlardan ustun F1-ko'rsatkichga

⁵ O'zbekistonda birinchi masofaviy robot jarrohlik operatsiyasi o'tkazildi [Elektron resurs] // Sputnik O'zbekiston 2026. – 23 may. – URL: <https://oz.sputniknews.uz>

⁶ Gulshan V., Peng L., Coram M. et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs // JAMA. – 2016. – Vol. 316, № 22. – P. 2402–2410.

⁷ Esteva A., Kuprel B., Novoa R.A. et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // Nature. – 2017. – Vol. 542, № 7639. – P. 115–118.



ega ekanini aniqlagan⁸, Z.I. Attia va boshqalar esa oddiy EKG orqali klinik belgilarsiz kechayotgan chap qorincha disfunktsiyasini aniqlash imkoniyatini asoslagan⁹.

Ikkinchi guruh – skrining dasturlarida SI ning klinik va tashkiliy samarasini baholovchi ishlar. D. Ardila va boshqalarning past dozali kompyuter tomografiyasi bo'yicha o'pka saratonini aniqlashga bag'ishlangan tadqiqoti¹⁰ hamda S.M. McKinney va hammualliflarining AQSh va Buyuk Britaniya ma'lumotlarida o'tkazilgan mammografik skrining tahlili¹¹ SI yolg'on musbat va yolg'on manfiy natijalarni kamaytirishi mumkinligini ko'rsatdi. Ayniqsa, K. Lång va boshqalarning MASAI randomizatsiyalangan nazorat ostidagi tadqiqoti¹² muhim ahamiyatga ega: unda SI qo'llanilganda saraton aniqlanishi kamaymagan holda rentgenologlar yuklamasi deyarli ikki baravar qisqargan.

Uchinchi guruh tibbiy robototexnikaga oid ishlardan iborat. G.-Z. Yang va hammualliflari tibbiy robotlarning avtonomlik darajalarini (0 dan 5 gacha) tasniflab, har bir daraja uchun normativ va axloqiy talablarni asoslagan¹³. Klinik samaradorlik bo'yicha natijalar bir xil emas: J.W. Yaxley va boshqalarning randomizatsiyalangan tadqiqotida robot yordamidagi prostatektomiya ochiq operatsiya bilan 12 haftalik funksional natijalar bo'yicha farq qilmagan, biroq qon yo'qotish va kasalxonada yotish muddati qisqargan¹⁴; ROLARR tadqiqotida esa to'g'ri ichak saratonida robot

⁸ Hannun A.Y., Rajpurkar P., Haghighpanahi M. et al. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network // Nature Medicine. – 2019. – Vol. 25, № 1. – P. 65–69.

⁹ Attia Z.I., Kapa S., Lopez-Jimenez F. et al. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram // Nature Medicine. – 2019. – Vol. 25, № 1. – P. 70–74.

¹⁰ Ardila D., Kiraly A.P., Bharadwaj S. et al. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography // Nature Medicine. – 2019. – Vol. 25, № 6. – P. 954–961.

¹¹ McKinney S.M., Sieniek M., Godbole V. et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening // Nature. – 2020. – Vol. 577, № 7788. – P. 89–94.

¹² Lång K., Josefsson V., Larsson A.-M. et al. Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): a clinical safety analysis of a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study // The Lancet Oncology. – 2023. – Vol. 24, № 8. – P. 936–944.

¹³ Yang G.-Z., Cambias J., Cleary K. et al. Medical robotics – Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy // Science Robotics. – 2017. – Vol. 2, № 4. – eaam8638.

¹⁴ Yaxley J.W., Coughlin G.D., Chambers S.K. et al. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open radical retropubic prostatectomy: early outcomes from a randomised controlled phase 3 study // The Lancet. – 2016. – Vol. 388, № 10049. – P. 1057–1066.



yordamidagi rezeksiya oddiy laparoskopiyaga nisbatan ochiq operatsiyaga o'tish xavfini statistik ahamiyatli darajada kamaytirmagan¹⁵.

Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti SI ni sog'liqni saqlashda qo'llashning axloqiy tamoyillarini – inson avtonomiyasini himoya qilish, shaffoflik, javobgarlik, inklyuzivlik va barqarorlikni – belgilab bergan¹⁶. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, xorijiy tadqiqotlarda alohida texnologiyalar chuqur o'rganilgan bo'lsa-da, ularni yagona klinik jarayon doirasida tizimli integratsiya qilish, ayniqsa, rivojlanayotgan sog'liqni saqlash tizimlari sharoitida yetarlicha yoritilmagan. Ushbu bo'shliq mazkur tadqiqotning dolzarbligini belgilaydi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqotda tizimli-tahliliy yondashuv, qiyosiy tahlil, kontent-tahlil va tavsifiy statistika usullaridan foydalanildi. Ma'lumotlar bazasini PubMed, Scopus va Google Scholar tizimlarida “artificial intelligence”, “deep learning”, “diagnostic accuracy”, “robot-assisted surgery”, “medical robotics” kalit so'zlari bo'yicha 2016–2025-yillarda ingliz tilida chop etilgan nashrlar tashkil etdi. Tanlov mezonlari sifatida quyidagilar qabul qilindi: tadqiqot yuqori impakt-faktorli jurnalda e'lon qilingan bo'lishi; mutaxassislar yoki standart amaliyot bilan taqqoslash mavjudligi; aniqlik ko'rsatkichlari (AUC, sezgirlik, o'ziga xoslik) yoki klinik natijalar miqdoriy ifodalangani. Mezonlarga javob bergan tadqiqotlardan turli klinik yo'nalishlarni qamrab oluvchi yettitasi qiyosiy jadvalga kiritildi.

Robot yordamidagi jarrohlikning rivojlanish dinamikasini baholash uchun bozorda yetakchi bo'lgan da Vinci platformasi bo'yicha ishlab chiqaruvchining 2019–2025-yillarga oid rasmiy yillik hisobotlari ma'lumotlari¹⁷ olindi. Dinamik

¹⁵ Jayne D., Pigazzi A., Marshall H. et al. Effect of robotic-assisted vs conventional laparoscopic surgery on risk of conversion to open laparotomy among patients undergoing resection for rectal cancer: the ROLARR randomized clinical trial // JAMA. – 2017. – Vol. 318, № 16. – P. 1569–1580.

¹⁶ World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. – Geneva: WHO, 2021. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>

¹⁷ Intuitive Surgical, Inc. Preliminary fourth quarter and full year results, 2019–2025 [Elektron resurs] // Investor relations. – URL: <https://isrg.intuitive.com>



qator tahlilida zanjirli o'sish sur'ati va o'rtacha yillik murakkab o'sish sur'ati (CAGR) quyidagi formula bo'yicha hisoblandi:

$$CAGR = (Y_n / Y_0)^{(1/n)} - 1,$$

bu yerda Y_0 – boshlang'ich yildagi amaliyotlar soni, Y_n – yakuniy yildagi amaliyotlar soni, n – davr uzunligi (yillar soni). Hisob-kitoblar Microsoft Excel va Python (matplotlib kutubxonasi) dasturlarida bajarildi.

TAHLIL VA NATIJALAR

1. Sun'iy intellekt asosidagi diagnostikaning samaradorligi. Tanlab olingan tadqiqotlarning asosiy natijalari 1-jadvalda umumlashtirildi.

1-jadval

Turli klinik yo'nalishlarda sun'iy intellekt asosidagi diagnostik tizimlarning samaradorlik ko'rsatkichlari

№	Tadqiqot (muallif, yil)	Klinik yo'nalish	Vazifa ma'lumotlar va	Asosiy natija
1	Gulshan V. va boshq., 2016	Oftalmologiya	Ko'z tubi fotosuratlari bo'yicha diabetik retinopatiyani aniqlash (EyePACS-1, Messidor-2)	AUC 0,991; sezgirlik 90,3%, o'ziga xoslik 98,1%
2	Esteva A. va boshq., 2017	Dermatologiya	129 450 klinik tasvir asosida teri saronini tasniflash	AUC 0,96 (karsinoma), 0,94 (melanoma); 21 dermatolog darajasida



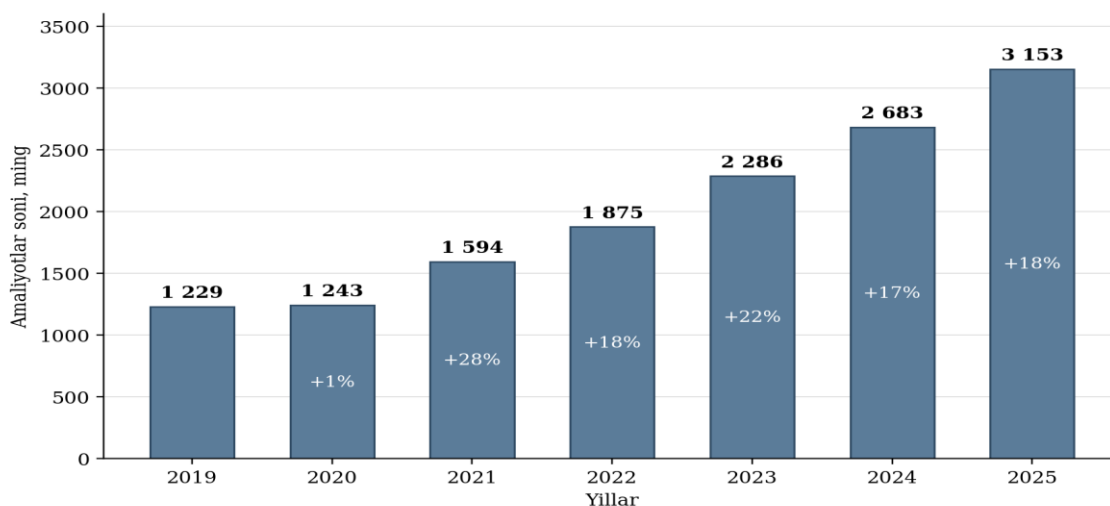
№	Tadqiqot (muallif, yil)	Klinik yo'nalish	Vazifa va ma'lumotlar	Asosiy natija
3	Hannun A.Y. va boshq., 2019	Kardiologiya	Bir kanalli ambulator EKG bo'yicha 12 ritm sinfini aniqlash	AUC 0,97; F1 0,837 (kardiologlarda 0,780)
4	Attia Z.I. va boshq., 2019	Kardiologiya	12 tarmoqli EKG orqali chap qorincha sistolik disfunksiyasini skrining qilish	AUC 0,93; sezgirlik 86,3%, o'ziga xoslik 85,7%
5	Ardila D. va boshq., 2019	Pulmonologiya, onkologiya	Past dozali KT bo'yicha o'pka saratonini xavfini baholash	AUC 94,4%; yolg'on musbat natijalar 11% ga, yolg'on manfiy 5% ga kamaygan
6	McKinney S.M. va boshq., 2020	Mammologiya	Mammografik skrining (AQSh va Buyuk Britaniya)	Yolg'on musbat 5,7% / 1,2% ga, yolg'on manfiy 9,4% / 2,7% ga kamaygan
7	Lång K. va boshq., 2023 (MASAI RNT)	Mammologiya	SI yordamidagi skrining va standart ikki karra o'qishni taqqoslash, 80 mingdan ortiq ayol	Saraton aniqlanishi 6,1 ga qarshi 5,1 (1000 kishiga); rentgenolog yuklamasi 44% ga kamaygan



Manba: V. Gulshan (2016), A. Esteva (2017), A.Y. Hannun (2019), Z.I. Attia (2019), D. Ardila (2019), S.M. McKinney (2020) va K. Lång (2023) tadqiqotlari asosida muallif tomonidan tuzilgan. *Izoh:* AUC – ROC-egri chiziq ostidagi maydon; RNT – randomizatsiyalangan nazorat ostidagi tadqiqot.

Jadval ma'lumotlari SI tizimlarining diagnostik qiymati bir necha jihatdan namoyon bo'lishini ko'rsatadi. Birinchidan, tasvirga asoslangan yo'nalishlarda (oftalmologiya, dermatologiya, radiologiya) algoritmlar AUC 0,93–0,99 oralig'ida, ya'ni yuqori malakali mutaxassislar darajasida ishlaydi. Ikkinchidan, SI shifokor ko'ra olmaydigan yashirin belgilarni aniqlashga qodir: masalan, oddiy EKG orqali chap qorincha disfunktsiyasini aniqlash (4-qator) amalda exokardiografiyaga muhtoj bemorlarni oldindan saralash vositasiga aylanadi. Uchinchidan, eng muhim tashkiliy samara skrining dasturlarida kuzatiladi: MASAI tadqiqotida (7-qator) saraton aniqlanishi 1000 ta tekshiruvga 5,1 dan 6,1 tagacha, ya'ni taxminan 20% ga oshgani holda rentgenologlar yuklamasi 44% ga kamaygan. Bu natija SI ning asosiy afzalligi shifokorni almashtirish emas, balki uning vaqtini murakkab holatlarga yo'naltirish ekanini tasdiqlaydi.

2. Robot yordamidagi jarrohlikning rivojlanish dinamikasi. 1-rasmda da Vinci tizimlari yordamida dunyo bo'yicha bajarilgan jarrohlik amaliyotlari sonining 2019–2025-yillardagi dinamikasi keltirilgan.



1-rasm. Dunyo bo'yicha da Vinci tizimlari yordamida bajarilgan jarrohlik amaliyotlari soni, 2019–2025-yillar (ming dona)

Manba: Intuitive Surgical kompaniyasining yillik hisobotlari asosida muallif tomonidan tuzilgan. Ustunlar ichida – o'tgan yilga nisbatan o'sish sur'ati.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, robot yordamidagi amaliyotlar soni 2019-yildagi 1 229 mingtadan 2025-yilda 3 153 mingtagacha, ya'ni 2,6 barobarga oshgan. Formula bo'yicha hisoblangan o'rtacha yillik o'sish sur'ati: $CAGR = (3\ 153 / 1\ 229)^{(1/6)} - 1 \approx 0,170$, ya'ni 17,0% ni tashkil etadi. 2020-yilda COVID-19 pandemiyasi sababli rejali operatsiyalar keskin qisqarganiga qaramay, amaliyotlar soni pasaymagan (+1%), 2021-yilda esa kechiktirilgan operatsiyalar hisobiga eng yuqori o'sish (+28%) qayd etilgan. 2022–2025-yillarda o'sish sur'ati 17–22% oralig'ida barqarorlashgan, bu texnologiyaning eksperimental bosqichdan kundalik klinik amaliyotga o'tganini ko'rsatadi. Faqat 2025-yilning o'zida 1 721 ta yangi tizim o'rnatilgan¹⁸.

Biroq amaliyotlar sonining o'sishi barcha jarrohlik yo'nalishlarida bir xil klinik ustunlik borligini anglatmaydi. Randomizatsiyalangan tadqiqotlar robot yordamidagi jarrohlikning afzalliklari asosan qon yo'qotishni kamaytirish, kasalxonada yotish muddatini qisqartirish va jarrohning ergonomik qulayligida namoyon bo'lishini, ayrim yo'nalishlarda esa yaxshi bajarilgan laparoskopiyadan

¹⁸ Intuitive Surgical, Inc. Preliminary fourth quarter and full year results, 2019–2025 [Elektron resurs] // Investor relations. – URL: <https://isrg.intuitive.com>



sezilarli ustun emasligini ko'rsatadi¹⁹. Demak, robotik tizimlarni xarid qilish va joriy etish to'g'risidagi qarorlar har bir klinik yo'nalish bo'yicha xarajat-samaradorlik tahliliga asoslanishi lozim.

3. Diagnostika–davolash–reabilitatsiya zanjirini optimallashtirish modeli. Tahlil natijalariga tayanib, SI va robototexnikani klinik jarayonga bosqichma-bosqich integratsiya qilish modeli taklif etiladi. Model bemorning tibbiy yordam olish yo'lini to'rt bosqichga ajratadi:

- *birlamchi saralash va skrining* – SI asosidagi tasvir va signal tahlili (ko'z tubi, mammografiya, EKG, KT) yordamida xavf guruhidagi bemorlarni erta aniqlash va shifokor e'tiborini shubhali holatlarga qaratish;

- *tashxisni aniqlashtirish va klinik qaror qabul qilish* – elektron tibbiy kartalar, laboratoriya va tasvir ma'lumotlarini birlashtiruvchi klinik qarorlarni qo'llab-quvvatlash tizimlari orqali differensial tashxis va davolash taktikasini tanlash;

- *davolash* – operatsiyadan oldingi 3D rejalashtirish, robot yordamidagi kam invaziv jarrohlik va operatsiya vaqtida tasvir bilan navigatsiya qilish orqali aniqlikni oshirish va asoratlarni kamaytirish;

- *reabilitatsiya va monitoring* – robotlashtirilgan reabilitatsiya komplekslari, ekzoskeletlar va taqiladigan sensorlar ma'lumotlarini SI yordamida tahlil qilib, tiklanish dasturini individual moslashtirish.

Modelning asosiy tamoyili – har bir bosqichda yakuniy qarorni shifokor qabul qilishi (“inson nazorati ostidagi SI”), algoritm esa ma'lumotlarni tayyorlash, ustuvorlikni belgilash va xatolar ehtimolini kamaytirish funksiyasini bajarishidir. Bu

¹⁹ Yaxley J.W., Coughlin G.D., Chambers S.K. et al. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open radical retropubic prostatectomy: early outcomes from a randomised controlled phase 3 study // The Lancet. – 2016. – Vol. 388, № 10049. – P. 1057–1066.; Jayne D., Pigazzi A., Marshall H. et al. Effect of robotic-assisted vs conventional laparoscopic surgery on risk of conversion to open laparotomy among patients undergoing resection for rectal cancer: the ROLARR randomized clinical trial // JAMA. – 2017. – Vol. 318, № 16. – P. 1569–1580.



yondashuv JSST tavsiyalariga²⁰ va robotlar avtonomligining joriy darajasiga²¹ mos keladi.

4. Joriy etishdagi asosiy to'siqlar. Tahlil qilingan manbalar SI va robototexnikani keng joriy etishga to'sqinlik qiluvchi quyidagi omillarni ajratishga imkon berdi: algoritmlarning boshqa populyatsiyalarga ko'chirilganda aniqligi pasayishi va tashqi validatsiya yetishmasligi; "qora quti" muammosi, ya'ni qaror mantiqini tushuntirish qiyinligi; shaxsiy tibbiy ma'lumotlar xavfsizligi; xatolik uchun yuridik javobgarlikning noaniqligi; robotik tizimlarning yuqori boshlang'ich va xizmat ko'rsatish narxi; shuningdek, mutaxassislarni o'qitishning uzoq muddat talab etishi. O'zbekiston sharoitida bularga mintaqaviy klinikalar o'rtasidagi raqamli infratuzilma tafovuti va milliy populyatsiyada validatsiya qilingan ma'lumotlar to'plamlarining yo'qligi qo'shiladi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

O'tkazilgan tahlil quyidagi xulosalarni chiqarish imkonini berdi:

1. Sun'iy intellekt asosidagi diagnostik tizimlar tasvir va signalga asoslangan yo'nalishlarda mutaxassislar darajasidagi aniqlikka (AUC 0,93–0,99) erishgan; ularning asosiy klinik qiymati shifokorni almashtirishda emas, balki skrining samaradorligini oshirish va mutaxassis yuklamasini qisqartirishda (MASAI tadqiqotida 44% ga) namoyon bo'ladi.

2. Robot yordamidagi jarrohlik jadal rivojlanayotgan yo'nalish bo'lib, 2019–2025-yillarda amaliyotlar soni 2,6 barobar oshgan (CAGR 17,0%). Biroq uning klinik afzalliklari yo'nalishga qarab farqlanadi, shu bois joriy etish xarajat–samaradorlik tahliliga asoslanishi kerak.

3. Eng katta optimallashtirish samarasiga texnologiyalar alohida emas, balki diagnostika–davolash–reabilitatsiya zanjiri bo'ylab yagona tizim sifatida, shifokor nazorati ostida qo'llanilganda erishiladi.

²⁰ World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. – Geneva: WHO, 2021. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>

²¹ Yang G.-Z., Cambias J., Cleary K. et al. Medical robotics – Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy // Science Robotics. – 2017. – Vol. 2, № 4. – eaam8638.



Olingan natijalar asosida O'zbekiston sog'liqni saqlash tizimi uchun quyidagi takliflar ilgari suriladi:

- diabetik retinopatiya, ko'krak bezi va o'pka saratoni skriningida SI tizimlarini viloyat ko'p tarmoqli tibbiyot markazlarida pilot loyiha sifatida sinovdan o'tkazish va natijalarni milliy populyatsiyada validatsiya qilish;

- robotlashtirilgan jarrohlik va reabilitatsiya bo'yicha respublika va mintaqaviy markazlar tarmog'ini shakllantirish, masofaviy robot jarrohligi tajribasini telemeditsina orqali viloyatlarga kengaytirish;

- tibbiyot oliy ta'lim muassasalari o'quv dasturlariga "Tibbiyotda sun'iy intellekt va robototexnika" modulini, simulyatsion markazlarda esa robotik trenajyorlarda amaliy mashg'ulotlarni kiritish;

- tibbiy ma'lumotlarni raqamlashtirish standartlarini, SI asosidagi tibbiy dasturiy ta'minotni ro'yxatdan o'tkazish va klinik baholash tartibini hamda yuridik javobgarlik masalalarini normativ jihatdan tartibga solish.

Keyingi tadqiqotlarda SI tizimlarining O'zbekiston klinikalaridagi real ma'lumotlarda aniqligini baholash va robotik jarrohlikning milliy sharoitdagi iqtisodiy samaradorligini hisoblash maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son «"Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi Farmoni // Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi. – URL: <https://lex.uz>
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi PQ-358-son «2030-yilgacha sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi qarori // Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi. – URL: <https://lex.uz/docs/7158606>
3. O'zbekistonda birinchi masofaviy robot jarrohlik operatsiyasi o'tkazildi [Elektron resurs] // Sputnik O'zbekiston. – 2026. – 23 may. – URL: <https://oz.sputniknews.uz>



4. Ardila D., Kiraly A.P., Bharadwaj S. et al. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography // Nature Medicine. – 2019. – Vol. 25, № 6. – P. 954–961.
5. Attia Z.I., Kapa S., Lopez-Jimenez F. et al. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram // Nature Medicine. – 2019. – Vol. 25, № 1. – P. 70–74.
6. Esteva A., Kuprel B., Novoa R.A. et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // Nature. – 2017. – Vol. 542, № 7639. – P. 115–118.
7. Gulshan V., Peng L., Coram M. et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs // JAMA. – 2016. – Vol. 316, № 22. – P. 2402–2410.
8. Hannun A.Y., Rajpurkar P., Haghpanahi M. et al. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network // Nature Medicine. – 2019. – Vol. 25, № 1. – P. 65–69.
9. Intuitive Surgical, Inc. Preliminary fourth quarter and full year results, 2019–2025 [Elektron resurs] // Investor relations. – URL: <https://isrg.intuitive.com>
10. Jayne D., Pigazzi A., Marshall H. et al. Effect of robotic-assisted vs conventional laparoscopic surgery on risk of conversion to open laparotomy among patients undergoing resection for rectal cancer: the ROLARR randomized clinical trial // JAMA. – 2017. – Vol. 318, № 16. – P. 1569–1580.
11. Lång K., Josefsson V., Larsson A.-M. et al. Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): a clinical safety analysis of a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study // The Lancet Oncology. – 2023. – Vol. 24, № 8. – P. 936–944.
12. McKinney S.M., Sieniek M., Godbole V. et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening // Nature. – 2020. – Vol. 577, № 7788. – P. 89–94.



13. World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. – Geneva: WHO, 2021. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>
14. Yang G.-Z., Cambias J., Cleary K. et al. Medical robotics – Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy // Science Robotics. – 2017. – Vol. 2, № 4. – eaam8638.
15. Yaxley J.W., Coughlin G.D., Chambers S.K. et al. Robot-assisted laparoscopic prostatectomy versus open radical retropubic prostatectomy: early outcomes from a randomised controlled phase 3 study // The Lancet. – 2016. – Vol. 388, № 10049. – P. 1057–1066.