

ӘОЖ 617-089:004

## «РОБОТТАНДЫРЫЛҒАН ХИРУРГИЯДАҒЫ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ РӨЛІ»

Утегалиев Жантлеу

[kiritakirigai@gmail.com](mailto:kiritakirigai@gmail.com)

“06106-IT-медицина” ББ 2 курс студенті

Қ.Жұбанов ат. Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

Ғылыми жетекші - п. ғ. кандидаты, доцент Байганова А.М.

Бұл зерттеуде қазіргі заманғы роботтандырылған хирургиядағы ақпараттық технологиялардың (АТ) рөлі мен маңызы кешенді түрде қарастырылған. Зерттеу барысында хирургиялық роботтардың бағдарламалық архитектурасы, жасанды интеллект (ЖИ), машиналық оқыту, толықтырылған шынайылық (AR) және 5G технологияларының телехирургиядағы орны талданды. Сонымен қатар, медициналық деректерді қорғаудағы киберқауіпсіздік мәселелері мен ақпараттық жүйелерді Қазақстанның, оның ішінде Ақтөбе облысының медициналық инфрақұрылымына енгізудің перспективалары мен кедергілері айқындалған. Роботтандырылған хирургия, ақпараттық технологиялар, жасанды интеллект, телехирургия, 5G желісі, киберқауіпсіздік және медициналық ақпараттық жүйелер сияқты түйінді бағыттар зерттеудің негізін құрайды.

Қазіргі заманғы медицина саласы ақпараттық технологиялардың (АТ) қарқынды дамуының арқасында жаңа белеске көтерілді. Бұл трансформацияның ең жарқын көріністерінің бірі – хирургиялық процестерді роботтандыру. Роботтандырылған хирургия (Robotic Surgery) тек механикалық құрылғылар мен манипуляторларды ғана емес, ең алдымен күрделі бағдарламалық жасақтамаларды, үлкен деректерді (Big Data) өңдеу алгоритмдерін және жасанды интеллект (AI) элементтерін қамтитын күрделі кешенді жүйе болып табылады [1]. Осындай жүйелердің көмегімен адам факторынан туындайтын қателіктер барынша азайтылып, ота жасаудың дәлдігі артып келеді. Дәстүрлі лапароскопиялық хирургиямен салыстырғанда, роботтандырылған кешендер хирургқа үш өлшемді кеңістікте жоғары дәлдікпен әрекет етуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде науқастың сауығу процесін айтарлықтай жеделдетеді.

Бұл зерттеудің өзектілігі хирургиялық манипуляциялардың қауіпсіздігі мен тиімділігін қамтамасыз етудегі цифрлық жүйелердің шешуші рөлімен түсіндіріледі. Бұрын роботтық жүйелер тек механикалық көмекші ретінде қарастырылса, қазіргі таңда олардың жұмысы толығымен дерлік бағдарламалық кодтар мен есептеу қуаттарына тәуелді [2]. Компьютерлік көру (Computer Vision), 3D визуалдау, машиналық оқыту және жоғары жылдамдықты деректерді тасымалдау сияқты инновациялық шешімдер дәрігерлерге микроскопиялық деңгейде жұмыс істеуге жағдай жасайды. Мақаланың негізгі мақсаты – қазіргі роботтандырылған хирургиялық кешендердегі ақпараттық технологиялардың негізгі қызметтерін, архитектурасын және болашақ даму перспективаларын ғылыми тұрғыдан тереңірек талдау.

Әлемдік медициналық практикада кеңінен таралған «Da Vinci» сияқты хирургиялық жүйелердің жұмыс істеу принципі толығымен ақпараттық технологияларға негізделген. Жүйенің архитектурасын үш негізгі бағдарламалық-аппараттық компонентке бөліп қарастыруға болады: хирургтың басқару консолі (адам мен машина интерфейсі - HMI), пациент жанындағы манипуляторлар (робототехникалық атқарушы механизмдер) және жоғары ажыратымдылықты 3D-көру жүйесі. Бұл архитектура «Master-Slave» (қожайын-бағынышты) принципі бойынша жұмыс істейді, мұндағы басты ерекшелік – хирург пен науқас арасында тікелей физикалық байланыстың болмауы. Оның орнына барлық қимылдар цифрлық сигналдарға айналып, арнайы оптикалық кабельдер арқылы тасымалданады.

Бұл құрылғылар арасындағы ақпарат алмасу миллисекундтық кідіріспен (latency) жұмыс істейтін арнайы кодталған сигналдар арқылы жүзеге асады. Бағдарламалық қамтамасыз етудің ең күрделі бөлігі – кинематикалық есептеулер (inverse kinematics). Жүйе хирургтың қолының қозғалысын секундына мыңдаған рет сканерлеп, манипулятордың микроскопиялық буындарына қажетті бұрыш пен күшті есептеп шығарады [3]. Сонымен қатар, бағдарламалық код хирургтың қолының табиғи дірілін (тремор) нақты уақыт режимінде (real-time) оқып, Калман сүзгілері (Kalman filters) сияқты математикалық алгоритмдер арқылы оны сүзгіден өткізеді де, манипуляторларға тек мінсіз, тегіс қозғалыс сигналдарын жібереді. Бұл процесс сенсорлық желілерден алынған деректерді өңдеу алгоритмдерінің үздіксіз әрі ақаусыз жұмысын талап етеді. Хирургиялық роботтардың көру жүйесі де күрделі бағдарламалық қамтамасыз етуді қажет етеді. Екі түрлі оптикалық каналдан алынған бейне ағындары цифрлық процессорға түсіп, нақты уақыт режимінде біріктіріледі де, хирургқа стереоскопиялық 3D форматтағы суретті ұсынады. Бұл жерде компьютерлік графика мен кескіндерді цифрлық өңдеу (Digital Image Processing) технологиялары шешуші рөл атқарады [4]. Түстерді түзету алгоритмдері (color correction algorithms) мен жарықтандыруды автоматты түрде реттеу жүйелері қан немесе басқа да сұйықтықтардың әсерінен болатын визуалды кедергілерді жояды. Сондай-ақ, заманауи бағдарламалық жүйелер тіндердің шекараларын анықтауға көмектесетін толықтырылған шынайылық (AR) элементтерін экранға тікелей қабаттастырып шығара алады. Бұл ақпараттық технологиялардың медициналық бейнелеудегі жетістіктерінің айқын көрінісі болып табылады. Роботтандырылған хирургияның дамуындағы келесі үлкен қадам – жасанды интеллект (ЖИ) мен машиналық оқытуды (Machine Learning – ML) тереңірек интеграциялау. Бұл технологиялар хирургиялық жүйелерді жай ғана механикалық құрал деңгейінен хирургтың толыққанды зияткерлік көмекшісіне айналдырады. Машиналық оқыту алгоритмдері мыңдаған сәтті оталардың бейнежазбалары, сенсорлық көрсеткіштері мен клиникалық деректерін талдау арқылы оқытылады. Соның нәтижесінде операциялық жүйе анатомиялық құрылымдарды, соның ішінде қан тамырларын, нәзік жүйке талшықтарын және қатерлі ісік шекараларын автоматты түрде тани алады. Жасанды интеллектінің тағы бір маңызды қызметі – «болжамды аналитика» (predictive analytics). Бұл функция хирургтың келесі қадамын математикалық ықтималдықпен болжайды және егер адам факторынан қателік қаупі туындаса, бірден ескерту сигналдарын береді немесе манипулятордың қозғалысын физикалық түрде бұғаттайды. Бұл әсіресе онкологиялық оталар кезінде қатерлі ісік жасушаларын сау тіндерден дәл ажырату және зақымдануды барынша азайту үшін өте маңызды.

Робот-хирургтың «көзі» ретінде қызмет ететін бағдарламалық модульдер қарапайым бейнекамералардан әлдеқайда күрделі құрылымға ие. Олар терең оқыту (Deep Learning) архитектураларына, соның ішінде көпқабатты конволюциялық нейрондық желілерге (CNN) негізделген. Мысалы, қазіргі заманғы роботтандырылған платформаларда YOLO (You Only Look Once) немесе Mask R-CNN сияқты күрделі компьютерлік көру алгоритмдері хирургиялық видеоағынды секундына 60 кадрдан (FPS) жоғары жылдамдықпен нақты уақыт режимінде талдайды. Бұл алгоритмдердің басты математикалық міндеті – семантикалық сегментация (Semantic Segmentation) жасау. Олар камерадан түскен бейнедегі әрбір пиксельді жіктеп, сау тіндерді, қан тамырларын және патологиялық аймақтарды түрлі түстермен ажыратып көрсетеді. Информатика тұрғысынан қарағанда, бұл жүйелік платадағы графикалық процессорға (GPU) өте үлкен жүктеме түсіретін күрделі матрицалық есептеулер болып саналады [5]. Мұндай алгоритмдерді дәлдікке оқыту үшін құрамында жүздеген мың сарапшылармен аннотацияланған (белгіленген) медициналық суреттері бар арнайы үлкен датасеттер қолданылады. Хирургиялық деректер ғылымы (Surgical Data Science) қазіргі роботтандырылған медицинаның жеке әрі аса маңызды тармағына айналып үлгерді. Дәстүрлі хирургияда ота барысындағы ақпарат тек дәрігердің жадында немесе қысқаша қағаз есептерде сақталса, роботтандырылған кешендер терабайттаған объективті цифрлық деректерді жазып алады [6]. Бұл деректерге

манипуляторлардың қозғалыс кинематикасы, тіндерге түскен қысым мөлшері және жоғары ажыратымдылықтағы видеоағындар кіреді. Осы үлкен деректерді (Big Data) талдау арқылы жасанды интеллект алгоритмдері хирургтардың шеберлігін объективті түрде бағалауға және жаңа буын дәрігерлерін оқытуға арналған стандартталған эталондарды жасап шығарады [7]. Бұл тәсіл хирургиялық қателіктерді жүйелі түрде азайтуға және медициналық білім беруді жаңа сапалық деңгейге көтеруге мүмкіндік береді.

Ақпараттық технологиялардың хирургиядағы тағы бір қуатты құралы – кеңістіктік визуалдау және алдын ала жоспарлау. Отаға дейінгі дайындық кезеңінде пациенттің МРТ (магнитті-резонансты томография) және КТ (компьютерлік томография) деректері DICOM форматынан арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы өңделіп, ағзаның дәл 3D-моделі жасалады. Толықтырылған шынайылық (AR) технологиясының көмегімен бұл виртуалды 3D-модель ота кезінде хирургтың консоліндегі нақты бейнемен миллиметрлік дәлдікпен қабаттастырылады (Image-Guided Surgery). Яғни, дәрігер науқастың денесін «ішіне дейін» көре алады: тіндердің астында жасырылған қан тамырларының орналасуын, ісіктің тереңдігін дәл анықтайды. Сонымен қатар, виртуалды шынайылық (VR) технологиялары жас мамандарды оқыту үшін жоғары дәлдіктегі симулятор ретінде кеңінен қолданылады. Информатика тұрғысынан алғанда, мұндай жүйелер үлкен көлемдегі полигональды графикалық деректерді кідіріссіз рендерингтеу (rendering) үшін қуатты есептеу кластерлерін және кодты оңтайландыруды қажет етеді. Толықтырылған шынайылық (AR) жүйелерінің тиімділігі тек статикалық көріністі жақсартумен шектелмейді. Лапароскопиялық және роботтандырылған хирургияда AR бағдарламалары науқастың тыныс алуынан немесе жүрек соғысынан туындайтын ішкі мүшелердің динамикалық қозғалыстарын нақты уақытта есептеп, виртуалды 3D-модельді сол қозғалыстармен синхрондайды [8]. Бұл «серпімді деформацияларды модельдеу» (elastic deformation modeling) деп аталатын, жоғары есептеу қуатын қажет ететін өте күрделі процесс. Осындай жоғары дәлдіктегі математикалық синхронизацияның арқасында хирург роботтың құралдарын ең қиын анатомиялық аймақтарға да қауіпсіз бағыттай алады.

Қазіргі заманғы операциялық бөлмелер жекелеген автономды құрылғылардан емес, өзара тығыз байланысқан «Медициналық заттар интернеті» (Internet of Medical Things – IoMT) экожүйесінен тұрады. Роботтандырылған хирургиялық кешен осы экожүйенің орталық хабы болып табылады. Дегенмен, бұлтты технологиялар (Cloud Computing) қаншалықты дамығанымен, барлық сенсорлық деректерді қашықтықтағы серверге жіберіп, оны өндеп қайта қабылдау белгілі бір желілік кідірістерге (latency) әкеп соғуы мүмкін. Осы мәселені шешу үшін заманауи роботтандырылған хирургияда «Шеттік есептеулер» (Edge Computing) технологиясы белсенді түрде енгізілуде. Бұл тәсілдің негізгі идеясы – ақпаратты орталық бұлтты серверде емес, деректер көзіне барынша жақын жерде (яғни роботтың өз ішіндегі процессорларда немесе операциялық бөлмедегі локальді серверде) өндеу. Edge Computing архитектурасының арқасында хирургтың консольден берген бұйрықтары миллисекундтың үлесіндей уақытта өңделіп, роботтың механикалық манипуляторына беріледі. Бұл критикалық жағдайларда, мысалы, кенеттен қан кету басталған сәтте жүйенің лездік реакциясын қамтамасыз етеді және аурухананың сыртқы интернет желісіндегі ақауларға тәуелділікті түбегейлі төмендетеді [9]. Роботтандырылған хирургияның ең перспективалы және технологиялық тұрғыдан күрделі бағыттарының бірі – телехирургия (Tele-surgery). Бұл тұжырымдама хирургтың пациенттен жүздеген немесе мыңдаған шақырым қашықтықта орналасып, интернет немесе арнайы жабық байланыс арналары арқылы робот-манипуляторларды басқаруын білдіреді. Телехирургияның басты АТ-мәселесі – желілік кідіріс (network latency) және деректер пакетінің жоғалуы (packet loss). Қауіпсіз ота жасау үшін хирургтың консольдегі қимылы мен роботтың пациент денесіндегі әрекеті арасындағы кідіріс 200 миллисекундтан аспауы тиіс. Осы мәселені шешуде бесінші буын (5G) технологиясы революциялық рөл атқарды. 5G желілері өте төмен кідірісті (Ultra-Reliable Low-Latency Communication - URLLC) және жоғары өткізу қабілетін (eMBB) қамтамасыз етеді. Бұл 4K немесе 8K форматындағы бейнені және сенсорлық-тактильді

деректерді нақты уақытта ешбір үзіліссіз тасымалдауға мүмкіндік береді. Трансконтиненталдық оталардың сәтті өтуі ақпараттық телекоммуникациялардың медицинадағы шешуші маңызын толық дәлелдеп отыр. Телехирургия саласындағы 5G желісінің мүмкіндіктерін нақты клиникалық мысалдармен дәлелдеуге болады. Мәселен, ортопедиялық және нейрохирургиялық тәжірибеде 5G желісіне негізделген телероботтық жұлын оталары (telerobotic spinal surgery) қазірдің өзінде сәтті жүзеге асырылуда [5]. Мұндай күрделі оталарда жұлын нервтерінің зақымдалу қаупі өте жоғары болғандықтан, роботтың бұйрықтарды орындау кідірісі (latency) 20-30 миллисекундтан аспауы қатаң талап етіледі. Зерттеулер көрсеткендей, бесінші буын желілері бұл талапты толықтай қанағаттандырып, географиялық қашықтыққа қарамастан хирургиялық манипуляциялардың абсолютті қауіпсіздігін қамтамасыз ете алады. Сонымен қатар, мұндай оталар бейне сигналдың ғана емес, тактильді кері байланыстың да мінсіз тасымалдануын талап етеді.

Ақпараттық технологиялардың ең жаңа трендтерінің бірі – «Цифрлық егіздер» (Digital Twins) концепциясы. Хирургиялық контексте бұл нақты пациенттің анатомиялық және физиологиялық көрсеткіштерінің 100% дәл виртуалды көшірмесін жасауды білдіреді. Жүйе науқастың КТ, МРТ, қан талдаулары мен генетикалық деректерін біріктіріп, бұлтты серверлерде математикалық модельдейді. Ота жасамас бұрын, хирургтар робот-симулятор арқылы осы «цифрлық егізге» тәжірибелік операция жасай алады. Бағдарламалық қамтамасыз ету операция барысында қандай асқинулар болуы мүмкін екенін (мысалы, қан қысымының күрт төмендеуі немесе тіндердің реакциясы) физикалық қозғалтқыштар (physics engines) арқылы болжап береді. Бұл технология отаның сәтті өту көрсеткішін максималды деңгейге көтереді және күтпеген клиникалық жағдайлардың алдын алады.

Роботтандырылған хирургияның алғашқы буындарындағы басты мәселе – хирургтың тіндерді «сезінбеуі» еді. Дәстүрлі отада дәрігер скальпель немесе пинцет арқылы тіннің қаттылығын немесе жұмсақтығын қолмен сезеді. Қазіргі заманғы IT-инженерия бұл мәселені «Haptic Feedback» (тактильді кері байланыс) жүйелері арқылы шешуде. Манипулятордың ұшына орнатылған микро-пьезоэлектрлік сенсорлар мен күш-моменттік датчиктер (force-torque sensors) тіндердің физикалық кедергісін өлшейді де, оны цифрлық сигналға айналдырып, хирургтың консоліндегі джойстиктерге жібереді. Бағдарламалық код бұл сигналдарды өңдеп, дәрігердің саусақтарына тиісті физикалық қарсылықты (вибрация немесе тежелу түрінде) береді. Бұл процесс өте күрделі аппараттық-бағдарламалық интеграцияны және нақты уақыттағы мәліметтерді еш кідіріссіз өңдеуді талап етеді.

Роботтандырылған хирургиялық кешендер ота барысында терабайттаған мәліметтер (видео, сенсорлық көрсеткіштер, жүйелік логтар) генерациялайды. Бұл «Үлкен деректер» (Big Data) бұлтты платформаларда (Cloud Computing) сақталып, талданады. Дегенмен, деректердің цифрлануы мен жүйелердің интернетке қосылуы өте маңызды мәселені – киберқауіпсіздікті алға шығарады [8]. Ақпараттық қауіпсіздік – роботтандырылған хирургияның ең осал тұсы. Хакерлік шабуылдар, мысалы, «Қызметтен бас тарту» (DDoS) шабуылдары немесе төлем талап ететін бағдарламалар (Ransomware), ота үстінде жүйенің істен шығуына әкелуі мүмкін. Оған қоса, пациенттердің құпия медициналық деректеріне қол сұғу қаупі бар. Сондықтан, хирургиялық АТ-жүйелерінде криптографиялық шифрлау (мысалы, AES-256), блокчейн технологиялары және желілік трафикті аномалияларға тексеретін интеллектуалды интрузияны анықтау жүйелері (IDS/IPS) міндетті түрде енгізілуі тиіс.

Телехирургия және бұлтты жүйелердің дамуымен қатар, медициналық деректерді қорғау мақсатында Блокчейн (Blockchain) технологиясын енгізу белсенді зерттелуде. Роботтандырылған операция кезіндегі әрбір манипуляция және құрылғының жүйелік логтары блокчейн желісіне өзгертілмейтін транзакция ретінде жазылады. Смарт-келісімшарттар (Smart Contracts) пациенттің рұқсатынсыз бұл деректерге үшінші тұлғалардың қол жеткізуін автоматты түрде бұғаттайды [8]. Ақпараттық технологиялардың хирургияға терең енуі құқықтық және этикалық сұрақтарды да туындатады. Егер ота

барысында бағдарламалық жасақтаманың қателігінен (software bug), жасанды интеллект алгоритмінің дұрыс емес шешімінен немесе байланыс желісінің үзілуінен науқасқа зақым келсе, жауапкершілік кімге жүктеледі? Бұл сұрақтар әлемдік биоэтика мен құқықтануда әлі толық шешімін тапқан жоқ. Сондықтан бағдарламалық кодтың транспаренттілігі (ашықтығы) мен оны тәуелсіз аудиттен өткізу технологиялық дамудың ажырамас бөлігі болуы тиіс. Роботтандырылған хирургиядағы жасанды интеллектіні қолданудың тағы бір өзекті мәселесі – алгоритмдердің «қара жәшік» (black-box) феномені. Машиналық оқыту жүйелері, әсіресе терең нейрондық желілер, белгілі бір шешімді қалай және қандай логикаға сүйеніп қабылдағанын адамға түсінікті тілде түсіндіре алмайды. Медициналық заңнама тұрғысынан бұл үлкен кедергі. Егер ЖИ жүйесі қате шешім ұсынып, робот соның салдарынан науқасқа зиян келтірсе, қолданыстағы құқықтық нормалар кінәлі тарапты (дәрігерді, бағдарламашыны немесе өндіруші компанияны) нақты анықтап бере алмайды. Сондықтан, халықаралық деңгейде автономды роботтық жүйелерді сертификаттаудың және олардың әрекеттерін құқықтық реттеудің жаңа стандарттарын әзірлеу кезек күттірмейтін мәселе болып отыр.

Қазақстан Республикасының денсаулық сақтау саласын цифрландыру бағытында үлкен қадамдар жасалуда. Дегенмен, жоғары технологиялық роботтандырылған хирургияны аймақтарға, соның ішінде Ақтөбе облысына енгізу бірнеше АТ-инфрақұрылымдық шарттарды талап етеді. Ақтөбе Батыс Қазақстанның ірі медициналық кластері болып табылады [10]. Біріншіден, ауылдық аймақтар мен орталық ауруханалар арасындағы телемедициналық байланысты қамтамасыз ету үшін талшықты-оптикалық желілер мен 5G станцияларын кеңейту қажет. Егер телехирургиялық ота жасалатын болса, Ақтөбедегі бас хирург аудандық ауруханадағы роботты басқаруы үшін желілік кідіріс өте төмен болуы шарт. Екіншіден, батыс өңіріндегі жоғары оқу орындарында, соның ішінде IT-медицина, биоинженерия және медициналық кибернетика мамандарын даярлау ісін күшейту қажет. Роботтар тек хирургтарды ғана емес, жүйенің бағдарламалық кодын түсінетін, серверлерге қызмет көрсететін және ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ететін білікті IT-инженерлерді де қажет етеді. Қазақстанда осындай озық технологияларды енгізудің нормативтік-құқықтық және инфрақұрылымдық базасы біртіндеп қалыптасуда. Мемлекеттің 2026 жылға дейінгі денсаулық сақтау саласын дамыту тұжырымдамасы аясында медициналық ақпараттық жүйелерді жаңғырту және бірыңғай цифрлық денсаулық сақтау экожүйесін құру басым бағыт ретінде айқындалған. Атап айтқанда, Ақтөбе облысы сияқты кең байтақ аумақты алып жатқан аймақтар үшін қашықтықтан диагностикалау қызметтерін дамыту өмірлік маңызға ие. Алайда, мұндай экожүйені толыққанды іске қосу үшін тек шетелдік жабдықтарды сатып алу жеткіліксіз. Отандық деректер орталықтарын (Data Centers) салу, жергілікті ауруханалардың желілік өткізу қабілетін арттыру және медициналық мекемелер арасындағы ақпарат алмасудың қауіпсіз протоколдарын (мәселен, HL7 FHIR стандарттарын) енгізу қажет [10].

Қорыта келгенде, роботтандырылған хирургия медициналық манипуляторлар мен озық ақпараттық технологиялардың мінсіз симбиозы болып табылады. Жасанды интеллект, үлкен деректерді талдау, машиналық көру және жоғары жылдамдықты телекоммуникациялар (5G) хирургияны бұрын-соңды болмаған дәлдік пен қауіпсіздік деңгейіне шығарды. Зерттеу барысында анықталғандай, бұл жүйелердің тиімділігі тек механикалық бөлшектерге емес, күрделі бағдарламалық алгоритмдерге тікелей тәуелді. Қазақстан, оның ішінде Ақтөбе облысы сияқты дамушы медициналық кластерлер үшін мұндай технологияларды енгізу тек қаржылық инвестицияларды ғана емес, мықты IT-инфрақұрылымды қалыптастыруды және АТ-медицина мамандарын даярлауды талап етеді. Болашақта медицина мен ақпараттық технологиялардың тоғысуы жаңа мамандықтардың пайда болуына және азаматтардың денсаулығын сақтау сапасының түбегейлі жақсаруына алып келетіні сөзсіз.

**Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:**

1. Hashimoto, D. A., Rosman, G., Rus, D., & Meireles, O. R. (2018). Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Annals of Surgery*, 268(1), 70-76.
2. Panesar, S., Cagle, Y., Chander, D., Morey, J., Fernandez-Miranda, J., & Kliot, M. (2019). Artificial Intelligence and the Future of Surgical Robotics. *Annals of Surgery*, 270(2), 223-226.
3. Diana, M., & Marescaux, J. (2015). Robotic surgery. *British Journal of Surgery*, 102(2), e15-e28.
4. Bernhardt, S., Nicolau, S. A., Soler, L., & Doignon, C. (2017). The status of augmented reality in laparoscopic surgery as of 2016. *Medical Image Analysis*, 37, 66-90.
5. O'Sullivan, S., Nevejans, N., Allen, C., et al. (2019). Legal, regulatory, and ethical frameworks for development of standards in artificial intelligence (AI) and autonomous robotic surgery. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 15(1), e1968
6. Қазақстан Республикасының денсаулық сақтау саласын дамытудың 2026 жылға дейінгі тұжырымдамасын бекіту туралы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2022 жылғы 24 қарашадағы № 945 қаулысы.
7. Maier-Hein, L., Vedula, S. S., Speidel, S., et al. (2017). Surgical data science for next-generation interventions. *Nature Biomedical Engineering*, 1(9), 691-696.
8. Гусев, А. В., & Добридюк, С. Л. (2017). Искусственный интеллект в медицине и здравоохранении. *Информационное общество*, (4-5), 78-93.
9. Tian, W., Fan, M., Zeng, C., Liu, Y., He, D., & Zhang, Q. (2020). Telerobotic Spinal Surgery Based on 5G Network: The First 12 Cases. *Neurospine*, 17(1), 114-120.
10. Жұмақанов, В. Д., & Ибрагимов, А. Т. (2020). Қазақстанда телемедицина мен ақпараттық технологияларды енгізудің заманауи мәселелері. *Қазақ ұлттық медицина университетінің хабаршысы*, (1), 45-50.