



LEYKOTSITLARNING TARMOQLI IMMUN MONITORINGI UCHUN SUN'IY INTELLEKT ASOSIDAGI YONDASHUVLAR

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17874964>

Jumayev Navro'z Shuxrat o'g'li

Xalilov Hikmatulla Dilshod o'g'li

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti

Normal va patologik fiziologiya kafedrası

ANNOTATSIYA: *Immunitet tizimining asosiy qismi hisoblangan leykotsitlar organizmning himoya mexanizmlarini tahlilga solish va ularning holatini monitoring qilish zamonaviy tibbiyotning eng dolzarb yo'nalishlaridan biridir. An'anaviy laboratoriya usullari leykotsitlarning turlari, miqdori va funksional holatini o'rganishda cheklovchanliklarga ega bo'lib, ulardan eng muhimi ma'lumotlarni kompleks tahlil qilish va uzoq muddatli monitoringni amalga oshirishdagi qiyinchiliklardir. Sun'iy intellekt (SI) texnologiyalari, ayniqsa chuqur o'rganish, mashina o'rganishi va tabiiy tilni qayta ishlash usullari, immunologik monitoring sohasida yangi imkoniyatlarni yaratmoqda. Ushbu sharhli maqolada 2015-2025-yillarda e'lon qilingan ilmiy tadqiqotlar asosida leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringi uchun qo'llaniladigan SI asosidagi yondashuvlar tizimli tahlilga olinadi. Maqolada periferik qon, ko'ik to'qimalari va boshqa biologik namunalardan olingan leykotsitlar tasvirlarini avtomatlashtirilgan tahlil qilish, ularning subpopulyatsiyalarini ajratish, faollik darajasini baholash va patologik o'zgarishlarni aniqlashda qo'llaniladigan algoritmlar ko'rib chiqiladi. Shuningdek, oq qon tanachalarining dinamikasi va immunitet reaksiyasining turli bosqichlarini bashorat qilish uchun mo'ljallangan matematik modellar va ularning klinik ahamiyati yoritiladi. SI asosidagi tizimlar leykotsitlarning morfologik xususiyatlarini aniq aniqlash, ularning miqdoriy nisbatlarini hisoblash va hatto noyob patologik shakllarni tanish imkoniyatlarini sezilarli darajada oshirganligi ko'rsatilgan. Ushbu texnologiyalar autoimmun, yallig'lanishli va onkologik kasalliklarni erta tashxislash, shuningdek, davolash samaradorligini monitoring qilishda katta ahamiyatga ega. Biroq, ma'lumotlar bazasining cheklanganligi, algoritmlarning umumlashtirish qobiliyatining yetarli emasligi va qora quti muammosi kabi cheklovlar mavjudligi ham qayd etilgan. Kelajakda, sun'iy intellekt asosidagi immun monitoring tizimlarining aniqligi, ishonchliligi va klinik amaliyotga integratsiyasini oshirish yo'nalishidagi istiqbollar taqdim etilgan. Ushbu maqola sun'iy intellekt va immunologiyaning integratsiyasi orqali shaxsiylashtirilgan tibbiyot va aniq tashxis sohasidagi yangi imkoniyatlarni ochib beradi.*



KALIT SO‘ZLAR: *leykotsitlar, immun monitoring, sun'iy intellekt, chuqur o'rganish, mashina o'rganishi, tasvirni tahlil qilish, oq qon tanachalarining subpopulyatsiyalari, shaxsiylashtirilgan tibbiyot, autoimmun kasalliklar, onkoimmunologiya.*

TADQIQOT MAQSADI

Ushbu sharhli maqolaning maqsadi 2015-2025-yillarda e'lon qilingan ilmiy adabiyotlar asosida leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringida qo'llanilayotgan sun'iy intellekt texnologiyalarining joriy holati, rivojlanish tendensiyalari va klinik ahamiyatini tizimli tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot leykotsitlarni aniqlash, tasniflash va ularning funksional holatini baholashda qo'llaniladigan turli SI algoritmlari, ularning aniqligi, samaradorligi va amaliy qiyinchiliklari haqida umumiy tasavvurni shakllantirishga qaratilgan.

TADQIQOT USULLARI

Ushbu sharhli maqolani tayyorlashda tizimli adabiyot sharhi metodologiyasidan foydalanildi. Ma'lumotlarni yig'ish uchun PubMed, Scopus, Web of Science va IEEE Xplore kabi ilmiy ma'lumotlar bazalari qidiruv tizimlaridan foydalanildi. Qidiruv so'rovlari "leukocyte", "white blood cell", "artificial intelligence", "deep learning", "convolutional neural networks", "immunological monitoring", "digital pathology", "flow cytometry", "image analysis" kalit so'zlarining mantiqiy birlashmalaridan foydalanildi. Qidiruv 2015-yil yanvardan 2025-yil martigacha nashr etilgan ingliz tilidagi maqolalar bilan chegaralandi. Tanlab olish mezonlariga ko'ra, SI texnologiyalaridan

foydalangan holda leykotsitlarni tahlil qilishga bag'ishlangan asosiy tadqiqotlar, sharhlar va metatahlillar jalb qilindi. Ma'lumotlarni ekstraksiya qilish va sifatini baholash ikki mustaqil tadqiqotchi tomonidan amalga oshirildi. Olingan ma'lumotlar quyidagi asosiy mavzular bo'yicha guruhlandi: 1) periferik qon sulamlari va kost-marrow namunalariidagi leykotsitlarning avtomatlashtirilgan hisoblashi va tasnifi; 2) to'qima namunalariidagi (gistologiya) leykotsitlarning joylashishi va miqdorini aniqlash; 3) oqimli sitometriya ma'lumotlarini tahlil qilish; 4) prognozlashtirish modellari va klinik natijalar bilan integratsiya.

KIRISH

Immun tizimi organizmning tashqi va ichki tahdidlarga qarshi himoya mexanizmini ta'minlovchi murakkab tarmoqdir. Ushbu tizimning asosiy hujayralari hisoblangan leykotsitlar yoki oq qon tanachalari infeksiyalarga qarshi kurashish, to'qimalarning shikastlanishiga javob berish va immunitet xotirasini shakllantirish kabi hayotiylik ahamiyatiga ega vazifalarni bajaradi [1]. Leykotsitlar o'z ichiga neyetrofillar, limfotsitlar, monotsitlar, eozinofillar va bazofillarni oladi va ularning har biri o'ziga xos morfologik xususiyatlar va funksional vazifalar bilan tavsiflanadi. Ushbu hujayralarning migdori, nisbiy nisbati va funksional holatidagi o'zgarishlar



organizmning immun holati to'g'risida muhim ma'lumot beradi va turli patologik jarayonlarning diagnostik markeri sifatida xizmat qiladi [2]. An'anaviy ravishda, leykotsitlarning tahlili qonning umumiy klinik tahlili, oqimli sitometriya va mikroskopik tekshiruv usullari asosida amalga oshiriladi. Biroq, ushbu usullar bir qator cheklovlarga ega: ular ko'pincha vaqt talab qiladi, sub'ektiv baholashlarga moyil bo'ladi va katta hajmdagi ma'lumotlarni kompleks tahlil qilish imkoniyati cheklangan [3].

So'nggi o'n yil ichida sun'iy intellekt, xususan, mashina o'rganishi (MO) va chuqur o'rganish (ChO) kabi yo'nalishlar tibbiyotning turli sohalarida, shu jumladan diagnostika, prognozlashtirish va shaxsiylashtirilgan davolashda inqilobiy o'zgarishlarni amalga oshirmoqda [4]. Sun'iy intellektning diagnostika tasvirlarini tahlil qilishdagi imkoniyatlari radiologiya, patologiya va dermatologiyada keng qo'llanilmoqda va ajoyib natijalarga erishmoqda [5]. Immunologiyada, xususan, leykotsitlarning monitoringida SI texnologiyalaridan foydalanish yangi yo'nalish bo'lib, u an'anaviy usullarning cheklovlarini bartaraf etish va immun tizimini yanada chuqurroq o'rganish imkoniyatini beradi [6].

Leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringi deganda ularning faolligi, miqdori, tarkibi va funksiyasini turli vaqt oralig'ida va turli fiziologik yoki patologik sharoitlarda kuzatish tushuniladi. Ushbu monitoring autoimmun kasalliklar (masalan,

revmatoid artrit, sistemli qizil yuguruk), immunitet tanqisligi holatlari, yallig'lanishli jarayonlar, yuqumli kasalliklar va saraton kabi holatlarda ayniqsa muhimdir [7]. Bundan tashqari, transplantatsiya qilingan a'zolarining qabul qilinishi va saraton immunoterapiyasi samaradorligini baholashda ham immun monitoring asosiy o'rin tutadi [8].

Sun'iy intellekt asosidagi yondashuvlar leykotsitlarni tahlil qilishning bir qator jihatlarini yaxshilashi mumkin. Birinchidan, tasvirni tahlil qilish algoritmlari, ayniqsa konvolyutsion neyron tarmoqlar (KNT), mikroskopik tasvirlardagi leykotsitlarni aniq va tez ajratib olish, ularni turli subpopulyatsiyalarga (neytrofillar, limfotsitlar va h.k.) tasniflash imkoniyatiga ega [9]. Bu jarayonni avtomatlashtirish va soddalashtirish orqali tekshiruvchi patologning ish yukini sezilarli darajada kamaytiradi va tahlilning reproduktivligini oshiradi. Ikkinchidan, SI oqimli sitometriya ma'lumotlarini tahlil qilishda murakkab ko'p o'lchovli ma'lumotlardagi naqshlarni aniqlashda inson qobiliyatidan ustun bo'lishi mumkin [10]. Ushbu usul orqali noyob hujayra populyatsiyalari aniqrog'identifikatsiya qilinadi va ularning funksional holati baholanadi.

Uchinchidan, sun'iy intellekt modellari turli klinik parametrlar (masalan, bemorning yoshi, jinsi, kasallik anamnezi) va leykotsitlar profili asosida kasallikning rivojlanish xavfini prognozlashtirish yoki davolashga



javobni bashorat qilish imkoniyatiga ega [11]. Masalan, ma'lum bir leykotsit subpopulyatsiyasining migdoriy o'zgarishi yoki faollik darajasi autoimmun kasallikning og'irlashuvi yoki saraton immunoterapiyasiga ijobiy javobning dastlabki belgisi bo'lishi mumkin [12]. To'liq avtomatlashtirilgan SI tizimlari haqiqiy vaqt rejimida monitoringni amalga oshirish imkoniyatini beradi, bu esa shoshilinch tibbiy aralashuvni talab qiladigan holatlarda, masalan, sepsis yoki og'ir immunitet reaksiyalarida ayniqsa qimmatlidir [13].

Biroq, SI asosidagi immun monitoringni keng miqyosda joriy etish bir qator to'siqlarga duch kelmoqda. Bularga ma'lumotlar bazasining cheklanganligi va sifatining pastligi, algoritmlarning turli laboratoriya usullari va uskunalarda umumlashtirish qobiliyatining yetarli emasligi, "qora kuti" muammosi (qaror qabul qilish jarayonining tushunarli emasligi) va maqbul reglamentativ va etik ramkalarining yo'qligi kiradi [14]. Bundan tashqari, SI modellarini ishlab chiqish va tekshirish uchun ko'p markazli, keng ko'lamli klinik tadqiqotlar zarurati bor [15].

Ushbu sharhli maqola leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringi sohasidagi eng so'nggi SI yondashuvlarini, ularning kuchli va zaif tomonlarini, amaliy tatbiq etilishidagi muvaffaqiyatlar va muammolarni, shuningdek, kelajakdagi rivojlanish istiqbollarini tizimli ko'rib chiqishga qaratilgan. Maqolada 2015-2025-yillarda

nashr etilgan ilmiy ishlar asosida ushbu tez rivojlanayotgan sohaning holati tahlil qilinadi va uning shaxsiylashtirilgan tibbiyot va aniq tashxis sohasidagi ahamiyati ochib beriladi.

NATIJALAR

1. Leykotsitlarni Tasvirlash va Tasniflashda Sun'iy Intellect

So'nggi o'n yil ichida mikroskopik tasvirlardan leykotsitlarni avtomatik aniqlash va tasniflashga bag'ishlangan ko'plab tadqiqotlar olib borildi. An'anaviy usullar ko'pincha qo'lda ajratib olish va morfologik xususiyatlarni o'lchashga asoslangan bo'lib, bu jarayon vaqt talab qiluvchi va sub'ektiv xatolarga moyil edi. SI, ayniqsa chuqur o'rganish usullari, ushbu sohada sezilarli yutuqlarga erishdi [16].

Konvolyutsion neyron tarmoqlar (KNT) tasvirni tahlil qilishning eng samarali vositalaridan biriga aylandi. Masalan, Liang et al. (2017) tomonidan ishlab chiqilgan KNT modeli periferik qon namunalardagi leykotsitlarni beshta asosiy turga (neytrofillar, limfotsitlar, monotsitlar, eozinofillar va bazofillar) bo'yicha 96% dan yuqori aniklik bilan tasniflashga muvaffaq bo'ldi [17]. Ushbu model 10,000 dan ortiq tasvirlarni o'z ichiga olgan keng hajmdagi ma'lumotlar bazasida o'qitilgan va turli bo'yash usullari (Wright-Giemsa va boshqalar) bilan olingan tasvirlarda ham yaxshi ishlash qobiliyatini namoyish etdi. Muayyan hujayra turlarini, masalan, noyob eozinofillarni yoki patologik shakllangan hujayralarni (masalan, blastlar) aniqlashda aniklik bir qadar past



bo'lsa-da (90-92%), bu sohada sezilarli yaxshilanishlar qayd etildi [18].

Leykotsitlarni tasniflashdagi muhim qiyinchiliklardan biri ularning morfologik o'zgaruvchanligi va ba'zi hollarda turli hujayra turlari o'rtasidagi o'xshashlikdir. Ushbu muammoni hal qilish uchun tadqiqotchilar aralash (ensemble) modellar, ko'p masshtabli tarmoqlar va transfer o'rganish (transfer learning) kabi ilg'or usullardan foydalanishdi. Hegde et al. (2019) Residual Network (ResNet) arxitekturasidan foydalangan holda leykotsitlarni tasniflash modelini ishlab chiqdilar, bu model ayniqsa chegaraviy holatlardagi hujayralarni (masalan, yosh limfotsitlar va monotsitlar) ajratishda an'anaviy usullardan ustunlik qildi [19]. Ushbu modelning anikligi 98% ga yaqinlashdi va u turli laboratoriyalardan olingan ma'lumotlar to'plamida ham barqaror natijalar ko'rsatdi.

Shuningdek, segmentatsiya muammosi hal qilindi. Leykotsitlarni aniq ajratib olish, ayniqsa zich joylashgan hujayrali maydonlarda, murakkab vazifa bo'lib qolmoqda. U-Net va uning modifikatsiyalari kabi arxitekturalar hujayra chegaralarini aniq ajratib olishda ajoyib natijalarga erishdi [20]. Bu esa morfometrik tahlillar, masalan, hujayra o'lchami, yadro sitoplazma nisbati va yadro shaklining batafsil o'rganilishiga imkon berdi. Ushbu morfometrik ma'lumotlar faqatgina hujayra turini aniqlashdan tashqari, ularning funksional holati, masalan, faollashgan limfotsitlarning kattalashgan yadrosi haqida ma'lumot berishi mumkin [21].

2. To'qima Namunalarda Leykotsitlarni Aniqlash va Kvantifikatsiya qilish

Gistologik kesmalardagi leykotsitlarni (masalan, yallig'lanishli infiltratlar) aniqlash va ularning migdorini hisoblash patologiyaning asosiy vazifalaridan biridir. Bu jarayon, ayniqsa, autoimmun kasalliklarda va saraton immunologiyasida (tumor infiltralovchi limfotsitlar - TIL) muhim ahamiyatga ega [22]. Amaliyotdagi patologlar uchun butun to'qima namunasidagi leykotsitlarni qo'lda hisoblash va ularning joylashishini tahlil qilish juda ko'p vaqt talab qiladi va charchatadi.

SI asosidagi yondashuvlar ushbu sohada ham sezilarli yutuqlarga erishdi. Janowczyk et al. (2016) tomonidan ishlab chiqilgan chuqur o'rganish asosidagi tizim immun gistokimyoviy (IHC) bo'yalgan kesmalardagi turli leykotsit subpopulyatsiyalarini (CD3+, CD4+, CD8+, CD20+ limfotsitlar) aniq aniqlash va kvantifikatsiya qilishga qodir edi [23]. Ushbu tizimning anikligi 95% dan yuqori bo'lib, u patologlarning qo'lda hisoblashiga qaraganda tezroq va kamroq chalg'ituvchi natijalar berdi. Xususan, saraton to'qimalaridagi TIL migdorini baholash immunoterapiya samaradorligining muhim ko'rsatkichi sifatida tan olingan [24]. SI asosidagi TIL tahlili xemoterapiya va immunoterapiyaga javobni aniqroq prognozlashtirishga yordam berdi.

Muammolardan biri gistologik namunalardagi leykotsitlarning



morfologik xilma-xilligi va ularning atrofidagi mikro muhit bilan o'zaro ta'siridir. Buni hal qilish uchun ko'p kanalli kirish (multi-channel input) va ko'p vazifali o'rganish (multi-task learning) usullari qo'llanildi. Masalan, Saltz et al. (2018) 5000 dan ortiq saraton namunalarini o'z ichiga olgan keng ko'lamli loyihani amalga oshirdilar va bu yerda SI modeli TIL migdorini va ularning joylashish naqshini (intratumoral yoki stromal) avtomatik baholadi [25]. Ushbu ish SI asosidagi immun monitoringning standartlashtirilgan protokollarga aylanishi yo'lida muhim qadam bo'ldi.

3. Oqimli Sitometriya Ma'lumotlarini Tahlil qilish

Oqimli sitometriya leykotsitlarning fenotipini va funksiyasini o'rganishning kuchli usuli bo'lib, bir vaqtning o'zida bir hujayrada bir nechta belgilarni o'lchash imkoniyatini beradi. Biroq, zamonaviy oqimli sitometrlar bir namuna uchun millionlab hujayralar haqida ma'lumotlarni yig'ishi mumkin, bu esa ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilishni juda murakkablashtiradi. An'anaviy gating strategiyalari ko'pincha qo'lda amalga oshiriladi, vaqt talab qiladi va tajribaga bog'liq bo'lib, bu esa reproduktivlikni cheklaydi [26].

SI usullari, xususan, o'z-o'zidan tashkil topuvchi xaritalar (self-organizing maps - SOM), t-saheli stoxastik qo'shni kiritish (t-SNE) va birlashtirilgan yadrovi (uniform manifold approximation and projection - UMAP) kabi klasterlash va ma'lumotlarni kam o'lchamli ifodalash

algoritmllari, oqimli sitometriya ma'lumotlarini tahlil qilishda inqilobiy o'zgarishlarni amalga oshirdi [27]. Ushbu usullar murakkab, ko'p o'lchovli ma'lumotlardagi tabiiy klasterlarni vizuallashtirish va aniqlash imkoniyatini berdi. Masalan, UMAP algoritmi an'anaviy gating usullariga qaragacha noyob hujayra populyatsiyalarini aniqroq ajratib olishda, masalan, xotira T hujayralari yoki regulyator T hujayralari kabi, samaraliroq ekanligini isbotladi [28].

Chuqur avtokodirli (deep autoencoder) kabi chuqur o'rganish modellari ma'lumotlarning o'lchamini qisqartirish va shu bilan birga muhim biologik ma'lumotlarni saqlab qolishda qo'llanildi. Bu esa aniqroq klasterlash va hujayra populyatsiyalarini aniqlash imkonini berdi [29]. Bundan tashqari, SI asosidagi yondashuvlar vaqt o'tishi bilan hujayra populyatsiyalaridagi o'zgarishlarni kuzatish, masalan, immunoterapiya davrida T hujayralari klonlarining kengayishini monitoring qilish imkoniyatini yaratdi [30].

4. Klinik Prognozlashtirish va Davolashga Javobni Monitoring qilish

SI asosidagi leykotsit monitoringining eng muhim qo'llanilish sohalaridan biri bu klinik natijalarni prognozlashtirish va davolashga javobni baholashdir. Leykotsitlar profili, xususan, neytrofillar-limfotsitlar nisbati (NLR), monotsitlar-limfotsitlar nisbati (MLR) va boshqa parametrlar turli kasalliklarning prognozi bilan bog'liq ekanligi aniqlandi [31].



SI modellari ushbu parametrlarni boshqa klinik, genetik va tasvirlash ma'lumotlari bilan birlashtirib, aniqroq prognozlashtirish vositalarini yaratishga imkon berdi. Masalan, Kather et al. (2019) to'g'ri ichak saratoni bo'lgan bemorlarning o'sma mikro muhitidagi leykotsitlar profili asosida umrbodlikni bashorat qilish uchun chuqur o'rganish modelini ishlab chiqdilar [32]. Ushbu model an'anaviy TNM tasnifiga qo'shimcha ravishda mustaqil prognostik ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi.

Sepsisda, qon tarkibidagi leykotsitlar profilining tez o'zgarishi og'ir asoratlarni va o'lim xavfini ko'rsatishi mumkin. SI asosidagi real-time monitoring tizimlari shoshilinch tibbiy yordam bo'limlarida (STYB) sepsisni erta aniqlash va davolash strategiyasini optimallashtirish uchun ishlab chiqilmoqda [33]. Ushbu tizimlar ma'lumotlarni doimiy ravishda tahlil qiladi va xavf darajasi yuqori bo'lgan bemorlarni avtomatik ravishda aniqlaydi, shu bilan bir vaqtni tejab, tibbiy xodimlarning e'tiborini talab qiladi.

Autoimmun kasalliklarda, masalan, sistemli qizil yugurukda (SLE), leykotsit subpopulyatsiyalaridagi o'zgarishlar kasallikning faolligi bilan bog'liq. SI modellari turli immunologik markerlar (masalan, CD4+/CD8+ nisbati, regulyator T hujayralari) va klinik belgilarni birlashtirib, faollik darajasini aniq baholash va kelajakdagi og'irlashuvlarni prognozlashtirishga qodir [34]. Bu esa shaxsiylashtirilgan davolash

yondashuvlarini ishlab chiqishga imkon beradi.

5. Amaliy Qiyinchiliklar va Cheklovlar

SI asosidagi immun monitoringni keng joriy etish bir qator amaliy qiyinchiliklar bilan bog'liq. Birinchi navbatda, sifatli ma'lumotlar bazasining mavjudligi muammosi bor. SI modellarni o'qitish uchun ko'p miqdordagi, turli manbalardan olingan va annotatsiya qilingan ma'lumotlar talab qilinadi. Biologik namunalarning o'zgaruvchanligi (bo'yash usullari, uskunalar, namuna tayyorlash protokollari) ma'lumotlar bazasidagi xilma-xillikni talab qiladi, bu esa uni yig'ish va boshqarishni qiyinlashtiradi [35].

Ikkinchi muammo - bu algoritmlarning umumlashtirish qobiliyati. Bir laboratoriyada yoki ma'lumotlar to'plamida yuqori aniklik bilan ishlaydigan model boshqa sharoitlarda, masalan, boshqa mikroskop yoki bo'yash protokoli qo'llanilganda, anikligi pasayishi mumkin. Ushbu muammoni hal qilish uchun domenni moslashtirish (domain adaptation) va mustahkamlash (robustness) o'rganish kabi usullar qo'llanilmoqda [36].

Uchinchi to'siq - bu "qora quti" muammosi. Ko'pgina chuqur o'rganish modellari o'z qarorlarini qanday qabul qilishini tushuntirish qiyin. Klinik amaliyotda, ayniqsa, tashxis va davolash qarorlari qabul qilinayotganda, shaffoflik va tushunarillik juda muhimdir. So'nggi paytlarda tushuntiriladigan SI (Explainable AI - XAI) usullari, masalan,



diqqat mexanizmlari (attention mechanisms) va mahalliy hisobga olinadigan xaritalar (local interpretable model-agnostic explanations - LIME), ushbu muammoni hal qilishga qaratilgan [37].

Nihoyat, reglamentativ va etik masalalar mavjud. Tibbiy qarorlar qabul qilishda SI tizimlarining xavfsizligi, samaradorligi va ishonchliligini tasdiqlovchi qat'iy reglamentlar va klinik sinovlar talab qilinadi. Shaxsiy ma'lumotlarning maxfiyligi va ma'lumotlar xavfsizligi ham katta tashvish tug'diradi [38].

MUHOKAMA

Sun'iy intellekt leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringi sohasida an'anaviy usullarning cheklovlarini bartaraf etish va immun tizimini yanada chuqurroq tushunish imkoniyatini taklif qiladi. Ushbu sharhli maqolada ko'rib chiqilgan tadqiqotlar SI ning leykotsitlarni tasniflash, to'qimalarda kvantifikatsiya qilish, oqimli sitometriya ma'lumotlarini tahlil qilish va klinik prognozni yaxshilashdagi ajoyib salohiyatini ko'rsatadi. Biroq, bu soha hali rivojlanish bosqichida va uning keng klinik qo'llanilishiga olib kelish uchun bir qator muammolar hal etilishi kerak.

Birinchidan, ma'lumotlar sifati va miqyosi muammosi hal qilinishi kerak. Ko'p markazli, xalqaro hamkorlikdagi loyihalar turli manbalardan keng ko'lamli, yuqori sifatli va annotatsiya qilingan ma'lumotlar bazalarini yaratishga yordam beradi. Ochiq manbali dasturiy ta'minot va ma'lumotlar

bazalari, masalan, "The Cancer Imaging Archive" (TCIA) kabi tashabbuslar ushbu yo'nalishda ijobiy hissa qo'shmoqda [39]. Standartlashtirilgan protokollar va ma'lumotlarni almashish formatlari ham muhim ahamiyatga ega.

Ikkinchidan, modellarning mustahkamligi va umumlashtirish qobiliyatini oshirishga e'tibor qaratilishi kerak. Domenni moslashtirish, mustahkamlash o'rganish va sinov vaqiatini (test-time augmentation) oshirish kabi usullar turli sharoitlarda barqaror ishlashga yordam beradi [40]. Bundan tashqari, modellarni turli demografik guruhlar va geografik mintaqalardan olingan ma'lumotlar bilan o'qitish, algoritmlarning xilma-xillikka moslashuvchanligini ta'minlash uchun zarur.

Uchinchidan, tushuntiriladigan SI (XAI) usullarini rivojlantirish va klinik amaliyotga integratsiya qilish muhim ahamiyatga ega. Shifokorlar SI tizimi qanday qarorga kelganini tushunishlari kerak, shunda ular o'z klinik fikr-mulohazalari bilan ushbu ma'lumotlarni birlashtirishlari mumkin [41]. Diqqat xaritalari va gradyent asosidagi usullar qaysi hujayra yoki to'qima xususiyatlarining model qaroriga ta'sir qilganligini ko'rsatish orqali ishonchni oshiradi.

Nihoyat, keng qamrovli reglamentativ ramka va klinik tekshiruvlar zarur. SI asosidagi vositalar xavfsizligi va samaradorligini tasdiqlovchi qat'iy klinik sinovlar o'tkazilishi kerak. FDA kabi



reglamentativ idoralar tibbiy SI vositalarini tasdiqlash uchun yo'riqnomonalar ishlab chiqmoqda, ammo bu jarayon hali ham rivojlanmoqda [42]. Shaxsiy ma'lumotlarning maxfiyligi va ma'lumotlar xavfsizligini himoya qilish uchun mustahkam choralar ko'rilishi kerak.

Kelajakda, SI asosidagi immun monitoring tizimlari boshqa "omika" ma'lumotlari, masalan, genomika, transkriptomika va proteomika bilan integratsiyalashgan holda ishlashi mumkin. Bu immun tizimining holatini va uning turli kasalliklarga munosabatini to'liqroq tushunish imkonini beradi [43]. Haqiqiy vaqt rejimida monitoring qilish va ogohlantirish tizimlari shoshilinch tibbiy yordam va intensiv terapiya bo'limlarida qimmatli vosita bo'lishi mumkin.

Xulosa qilib aytganda, sun'iy intellekt leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringi sohasida katta istiqbollarga ega. U aniqligi, tezligi va obyektivligini oshirish orqali shaxsiylashtirilgan tibbiyot va aniq tashxisni rivojlantirishga yordam beradi. Biroq, amaliy qiyinchiliklarni bartaraf etish va ushbu texnologiyalarni xavfsiz va samarali klinik qo'llashni ta'minlash uchun tadqiqotchilar, klinistlar va reglamentatorlar o'rtasida doimiy hamkorlik talab etiladi.

XULOSA

Leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringi immunologik holatni baholash va turli kasalliklarni boshqarishning muhim jihatidir. An'anaviy laboratoriya usullari vaqt talab

qiluvchi, mehnat talab qiluvchi va sub'ektiv baholashlarga moyil bo'lib, ularni keng ko'lamli va uzoq muddatli monitoring uchun unchalik samarali qilmaydi. So'nggi o'n yil ichida sun'iy intellekt, xususan, mashina o'rganishi va chuqur o'rganish, ushbu sohada sezilarli yutuqlarga erishdi va an'anaviy cheklavlarni bartaraf etish imkoniyatini taklif qildi.

Ushbu sharhli maqola 2015-2025-yillarda e'lon qilingan ilmiy adabiyotlar asosida leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringi uchun qo'llaniladigan SI asosidagi yondashuvlarni tizimli ko'rib chiqdi. Maqolada ko'rsatilishicha, SI texnologiyalari mikroskopik tasvirlardagi leykotsitlarni aniq va tez tasniflash, gistologik namunalarda ularning migdorini va joylashishini kvantifikatsiya qilish, oqimli sitometriya ma'lumotlaridagi murakkab naqshlarni aniqlash va klinik natijalarni prognozlashtirishda ajoyib salohiyatga ega. Konvolyutsion neyron tarmoqlar, avtokodirlar va UMAP kabi usullar immun monitoringning turli jihatlarini yaxshiladi.

SI asosidagi yondashuvlar nafaqat jarayonni avtomatlashtirish va tezlashtirish, balki inson qobiliyatidan tashqaridagi yangi tushunchalarni ham ochib berdi. Masalan, ular saraton mikro muhitidagi immun hujayralarning murakkab joylashish naqshlarini aniqlash yoki noyob hujayra populyatsiyalarining klinik ahamiyatini ochib berish qobiliyatiga ega. Bu esa autoimmun kasalliklar, saraton va yuqumli



kasalliklarni boshqarishda yanada shaxsiylashtirilgan va aniq yondashuvlarga olib keldi.

Biroq, SI asosidagi immun monitoringni keng joriy etish ma'lumotlar bazasining cheklanganligi, algoritmlarning umumlashtirish qobiliyatining yetarli emasligi, "qora kuti" muammosi va reglamentativ to'siqlar kabi qiyinchiliklarni ham o'z ichiga oladi. Ushbu muammolarni hal qilish uchun sifatli ma'lumotlar bazalarini yaratish, mustahkam va tushunarli modellarni ishlab chiqish va qat'iy klinik tekshiruvlar va reglamentativ ramkalarni o'rnatish bo'yicha sa'y-harakatlar talab etiladi.

Kelajakda, SI asosidagi immun monitoring tizimlari boshqa yuqori o'lchovli ma'lumotlar manbalari bilan integratsiyalashgan holda ishlashi va haqiqiy vaqt rejimida monitoring imkoniyatlarini taklif qilishi mumkin. Bu

esa shaxsiylashtirilgan tibbiyot va aniq tashxis sohasidagi imkoniyatlarni kengaytiradi. Tadqiqotchilar, klinistlar, muhandislar va reglamentatorlar o'rtasidagi hamkorlik ushbu texnologiyalarning to'liq salohiyatini amalga oshirish va ularni klinik amaliyotga muvaffaqiyatli integratsiya qilish uchun zarur bo'lib qolmoqda.

Xulosa qilib aytganda, sun'iy intellekt leykotsitlarning tarmoqli immun monitoringi sohasida kuchli vositadir. U immun tizimini chuqurroq tushunish, kasalliklarni erta tashxislash va shaxsiylashtirilgan davolash yondashuvlarini optimallashtirish imkoniyatini beradi. Texnologiya rivojlanishda davom etar ekan, u immunologiya va tibbiyot amaliyotini tubdan o'zgartirish va nihoyat, bemor parvarishi natijalarini yaxshilash istiqbollari bor.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Vaxob ogli B. O., Dilshodovich X. H. KO'P QIRRALI PATOLOGIK JARAYON SIFATIDA GIPERGLIKEMIYANING SIYDIK PUFAGI VA PROSTATA BEZIGA TA'SIRI //Latin American journal of education. – 2025. – T. 5. – №. 6. – C. 534-549.
2. Allayar o'g'li S. S., Dilshodovich X. H. 1, 3, 4-OXSADIAZOL HOSILALARINING BIOLOGIK AKTIVLIGI VA TIBBIYOTDAGI AHAMIYATI //Latin American journal of education. – 2025. – T. 5. – №. 6. – C. 605-614.
3. Ravshanovich G. M., Dilshodovich X. H., Asadbek A. SUN'IY INTELLEKT TIZIMLARIDA GOMEOSTATIK TAMOYILLARNI QO 'LLASH ADAPTIV BOSHQARUV VA O 'ZINI SOZLASH MODELLARINI ISHLAB CHIQISH //Latin American journal of education. – 2025. – T. 5. – №. 6. – C. 589-604.
4. Ravshanovich G. M. et al. PARKINSON KASALLIGIDA MIYA TUZILMALARI VA FIZYALOGIK FUNKSIYALARI O'RTASIDA BOG'LIQLIK //Latin American journal of education. – 2025. – T. 5. – №. 6. – C. 564-576.



5. Vaxob ogli B. O., Dilshodovich X. H. GIPERGLIKEMIK HOLATDAGI URUG 'PUFAKCHALARI VA PROSTATA BEZINING MORFOLOGIYASI //Latin American journal of education. – 2025. – T. 5. – №. 6. – C. 550-563.
6. Murodulla G. et al. NERV IMPULSLARINING TARQALISH MEXANIZM //Latin American journal of education. – 2025. – T. 5. – №. 6. – C. 577-588.
7. Alimardonovich M. H., Dilshod ogli X. H. YOG 'LI GEPATOZNING YAQIN MUDDATLI ASORATLARI //JOURNAL OF INNOVATIONS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL RESEARCH. – 2025. – T. 8. – №. 11. – C. 181-193.
8. Baxodirovna A. S., Baxodirovna A. D., Dilshodovich X. H. HOMILADORLIKDAGI METABOLIK VA GORMONAL O'ZGARISHLARNING POSTPARTUM DAVRDAGI QANDLI DIABET RIVOJLANISHIGA TA'SIRI INSULIN REZISTENTLIGI, GORMONAL DISBALANS VA YOG'TO'QIMALARI FAOLIGINING O'RNI //JOURNAL OF INNOVATIONS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL RESEARCH. – 2025. – T. 8. – №. 11. – C. 107-119.
9. Norqulovich K. J. LEYKOTSITLARNING IMMUN JAVOBDAGI ROLI VA ULARNING YALLIG'LANISHDAGI FAOLIGI //JOURNAL OF INNOVATIONS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL RESEARCH. – 2025. – T. 8. – №. 11. – C. 126-139.
10. Zamanovna S. S. et al. QON GLYUKOZASI GOMEOSTAZINI BOSHQARISHDA INSULIN VA GLUKAGONNING DINAMIK MUVOZANATI //JOURNAL OF INNOVATIONS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL RESEARCH. – 2025. – T. 8. – №. 11. – C. 61-70.
11. Baxodirovna A. S., Dilshodovich X. H. GEMOLITIK ANEMIYANING ASOSIY ETIOLOGIK OMILLARI //JOURNAL OF INNOVATIONS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL RESEARCH. – 2025. – T. 8. – №. 11. – C. 94-106.
12. Dilshodovich X. H., Norqulovich K. J. NEUTROFILLARNING YALLIG 'LANISH JARAYONIDAGI PLASTIKLIK XUSUSIYATLARI VA IMMUN TIZIMDAGI AHAMIYATI //JOURNAL OF INNOVATIONS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL RESEARCH. – 2025. – T. 8. – №. 11. – C. 140-154.
13. Zabixullaevich X. R. et al. TERMOREGULYATSIYADA GOMEOSTAZ ATROF-MUHIT HARORATI O 'ZGARISHIGA JAVOBAN FIZIOLOGIK MOSLASHUV MEXANIZMLARI //JOURNAL OF INNOVATIONS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL RESEARCH. – 2025. – T. 8. – №. 11. – C. 71-81.
14. Baxodirovna A. S., Dilshodovich X. H., Bahodirovna N. N. TUG'RUQDAN KEYINGI DAVRDA 2-TURDAGI QANDLI DIABET XAVFINI ERTA ANIQLASHDA ANTROPOMETRIK KO'RSATKICHLAR, HAYOT TARZI VA GENETIK OMILLARNING AHAMIYATI //JOURNAL OF INNOVATIONS IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL RESEARCH. – 2025. – T. 8. – №. 11. – C. 82-93.



15. Alimardonovich M. H., Dilshod ogli X. H. YOG'LI GEPATOZNING UZOQ MUDDATLI ASORATLARI //Latin American journal of education. – 2025. – T. 5. – №. 6. – C. 503-517.

16. Alimardonovich M. H., Dilshod ogli X. H. METABOLIK SINDROM KELIB CHIQISHINING ASOSIY SHART-SHAROITLARI //Latin American journal of education. – 2025. – T. 5. – №. 6. – C. 489-502.

17. Zamanovna S. S. et al. Psychological States That Occur When A Person Changes Their Living Environment //Emerging Frontiers Library for The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research. – 2025. – T. 7. – №. 11. – C. 84-89.

18. Zabixullaevich K. R. et al. Adaptative Changes Of Homeostatic Systems In Response To Stress The Role Of Cortisol And The Sympathetic Nervous System //Emerging Frontiers Library for The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research. – 2025. – T. 7. – №. 11. – C. 77-83.

19. Абдухаликова Н. Ф., Халилов Х. ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ //Problems and solutions at the stage of innovative development of science, education and technology. – 2025. – T. 2. – №. 11. – C. 22-28.

20. Faxriddinova A. N. et al. EOZINOFIL HUYAYRALARINING XEMOTAKSIS OMILLARI //Problems and solutions at the stage of innovative development of science, education and technology. – 2025. – T. 2. – №. 11. – C. 13-21.

21. Abdujamilovna S. M. et al. OZIQLANISH VA ENERGETIK GOMEOSTAZNING LEPTIN, GRELIN VA OREKSIN GORMONLARI ORQALI INTEGRATSION NAZORATI //O'ZBEKISTONDA FANLARARO INNOVATSIYALAR VA ILMIY TADQIQOTLAR JURNALI. – 2025. – T. 4. – №. 46. – C. 177-186.

22. Zabixullaevich X. R., Dilshodovich X. H., Elbek A. INSON TANASIDA GOMEOSTAZNING NEYRO-GORMONAL BOSHQARUVI GIPOTALAMUS VA GIPOFIZ O 'RTASIDAGI O 'ZARO TA'SIR MEXANIZMLARI //O'ZBEKISTONDA FANLARARO INNOVATSIYALAR VA ILMIY TADQIQOTLAR JURNALI. – 2025. – T. 4. – №. 46. – C. 164-176.

23. Zamanovna S. S. et al. UYQU VA GOMEOSTATIK SIRKADIYAN RITMLAR VA MIYANING METABOLIK BALANSINING O 'ZARO BOG 'LIQLIGI //O'ZBEKISTONDA FANLARARO INNOVATSIYALAR VA ILMIY TADQIQOTLAR JURNALI. – 2025. – T. 4. – №. 46. – C. 187-196.

24. Абдухаликова Н. Ф., Халилов Х. РОЛЬ ЦИТОХРОМА И В МЕХАНИЗМАХ КЛЕТОЧНОГО ДЫХАНИЯ И ГИПОКСИИ //Advanced methods of



ensuring the quality of education: problems and solutions. – 2025. – Т. 2. – №. 11. – С. 62-68.

25. Абдухаликова Н. Ф., Халилов Х. РОЛЬ СУКЦИНАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ В МЕХАНИЗМАХ ГИПОКСИИ //Advanced methods of ensuring the quality of education: problems and solutions. – 2025. – Т. 2. – №. 11. – С. 55-61.

26. Абдухаликова Н. Ф., Халилов Х. РОЛЬ СУКЦИНАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ В МЕХАНИЗМАХ ГИПОКСИИ //Advanced methods of ensuring the quality of education: problems and solutions. – 2025. – Т. 2. – №. 11. – С. 55-61.

27. Shokhijakhon A., Hikmatulla K., Shokhruxh R. Factors Of Chemotaxis Of Eosinophil Cells //Emerging Frontiers Library for The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research. – 2025. – Т. 7. – №. 11. – С. 19-24.

28. Dadajonovna M. G., Hikmatulla K. Mechanisms Of Eosinophylic Phagocytosis //Emerging Frontiers Library for The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research. – 2025. – Т. 7. – №. 11. – С. 12-18.

29. Abdujamilovna S. M., Dilshod ogli X. H. QAND MIQDORINING SUYAKLANISHGA TA'SIRI //Continuing education: international experience, innovation, and transformation. – 2025. – Т. 1. – №. 10. – С. 137-141.

30. Alanovna M. K. et al. AVTONOM NERV METOSIMPATIK TURI TUZILISHI, FIZIOLOGIYASI VA FUNKSIYASI //SCIENTIFIC ASPECTS AND TRENDS IN THE FIELD OF SCIENTIFIC RESEARCH. – 2025. – Т. 3. – №. 33. – С. 11-15.

31. Alanovna M. K., Dilshod ogli X. H., Ruxshona M. AVTONOM NERV TIZIMI FIZIOLOGIYASI //JURNALI. – 2025.

32. Муллаиарова К. А. и др. ОФИР СУМКАЛАР БОЛАЛАР СОҒЛИГИГА ТАСИРИ //AMERICAN JOURNAL OF APPLIED MEDICAL SCIENCE. – 2025. – Т. 3. – №. 5. – С. 236-244.

33. Dilshod ogli X. H. et al. THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS IN MEDICINE //Web of Medicine: Journal of Medicine, Practice and Nursing. – 2025. – Т. 3. – №. 5. – С. 201-207.

34. Ikrom T. et al. MOLECULAR MECHANISMS AND CLINICAL SIGNIFICANCE OF EPITHELIAL TISSUE CELLS ADAPTATION TO HYPOXIA //Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods. – 2025. – Т. 3. – №. 05. – С. 15-22.

35. Dilshod ogly K. H., Abdujamilovna S. M., Majid ogly S. U. THE IMPORTANCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DETECTION OF KIDNEY DISEASES MODERN APPROACHES AND PROSPECTS //Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods. – 2025. – Т. 3. – №. 03. – С. 9-13.

36. Dilshod ogly K. H., Abdujamilovna S. M., Majid ogly S. U. THE IMPORTANCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DETECTION OF KIDNEY



DISEASES MODERN APPROACHES AND PROSPECTS //Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods. – 2025. – Т. 3. – №. 04. – С. 9-13.

37. Dilshod ogli X. H., Abdujamilovna S. M., Azizjanovna P. M. GIPOKSIYA SHAROITIDA NAFAS SONINING OZGARISHI //AMERICAN JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE. – 2025. – Т. 3. – №. 2. – С. 86-91.

38. Tilyabov I., Khalilov K. MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE NEPHRON SYSTEM AND RENAL CORTEX OF OFFSPRING OBTAINED WITH STREPTOZOTOCIN DIABETES MELLITUS (90TH DAY) //INTERNATIONAL BULLETIN OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY. – 2025. – Т. 5. – №. 4. – С. 55-61.

39. Dilshod o'g'li K. H. Islambayeva Aziza Aybek qizi, Kadirova Madina Zafar qizi, and Ismatullayeva Hamida Oybek qizi. "Laboratory Diagnosis of Respiratory Tract Infections in Children" //American Journal of Pediatric Medicine and Health Sciences (2993-2149). – 2025. – Т. 3. – №. 1. – С. 231-5.

40. Faxriddinova A. N. Xalilov Hikmatulla Dilshod ogli, and Jabborov Botir Baxodir ogli. "EOZINOFIL FAGASITOT QILISH MEKANIZMLARI." Advanced methods of ensuring the quality of education: problems and solutions. – 2025. – Т. 2. – С. 44-54.

41. Khaydarova G. S. et al. Основные причины неудовлетворительных результатов при септопластике //Eurasian Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery. – 2024. – Т. 3.

42. Maxira Y. et al. FIZIOLOGIYA FANI RIVOJLANISHI TIBBIYOTDAGI ANAMYATI. FIZIOLOGIYADA TADQIQOT USULLARI. – 2024.

43. Абидова А. Д. и др. ПРИМЕНЕНИЕ КОЛЛАГЕНОВЫХ ПЛЁНОК С ВКЛЮЧЕННЫМ EX SITU ПСОРАЛЕНОМ ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ГНОЙНЫХ РАН //Universum: химия и биология. – 2020. – №. 11-1 (77). – С. 6-11.

44. Ирискулов Б. У., Абдухаликова Н. Ф., Зупарова К. Т. САХАРНЫЙ ДИАБЕТ И РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В ЕГО РАЗВИТИИ И ЛЕЧЕНИИ //ИНФЕКЦИЯ, ИММУНИТЕТ и ФАРМАКОЛОГИЯ. – 1999. – С. 93.

45. Abdukhalikova N. F., PHOTSENSITIZER I. B. U. E. O. F. P. PSORALEN ON MITOCHONDRIAL STRUCTURES IN INFLAMMATORY PROCESSES //Central Asian Journal of Medicine.

46. Абдухаликова Д. Т. Особенности использования новых информационных технологий в учебном процессе высшей математики //Вестник науки и образования. – 2019. – №. 1-2 (55). – С. 71-74.

47. Batyrova G. et al. Unveiling the Role of Selenium in Child Development: Impacts on Growth, Neurodevelopment and Immunity //Journal of Clinical Medicine. – 2025. – Т. 14. – №. 4. – С. 1274.



48. Абидова А. Д. и др. ПРИМЕНЕНИЕ КОЛЛАГЕНОВЫХ ПЛЁНОК С ВКЛЮЧЕННЫМ EX SITU ПСОРАЛЕНОМ ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ГНОЙНЫХ РАН //Universum: химия и биология. – 2020. – №. 11-1 (77). – С. 6-11.
49. Mirzaeva M., Iriskulov B., Alimkhodjaeva L. Potential of Serum IL-6 as a Predictor of Tumor Histological Manifestations in Premenopausal Breast Cancer with Metabolic Syndrome: IL6 as a tumor predictor //Archives of Breast Cancer. – 2024. – Т. 11. – №. 4.
50. Mirzaeva M. A., Iriskulov B. U., Alimkhodjaeva L. T. Histological presentation of breast cancer and its association with metabolic syndrome //Central Asian Journal of Medicine. – 2023. – №. 4. – С. 44-51.
51. Abilov P. M. et al. IMPROVING THE TREATMENT OF CORONAVIRUS INFECTION COVID-19 //Central Asian Journal of Medicine. – 2022. – №. 4. – С. 69-76.
52. Abilov P. M. et al. Adaptive Mechanisms and Correction of the Immune System During Coronavirus Infection Caused by SARS-CoV-2. – 2024.