SHAXSIY TIBBIYOTDA SUN'IY INTELLEKT VA BIOINFORMATIKA TEXNOLOGIYALARINING ZAMONAVIY IMKONIYATLARI

Sh.U.Norimov[1], R.R.Shixnazarov[2], M.M.Abdullayeva[3].

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti biotexnologiya kafedrasi o'qituvchisi[1]

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti biotexnologiya kafedrasi o'qituvchisi[2]

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch Davlat Universiteti Biotexnologiya ta'lim yo'nalishi talabasi[3]

shohrux@urdu.uz, abdullayevamavluda56@gmail.com

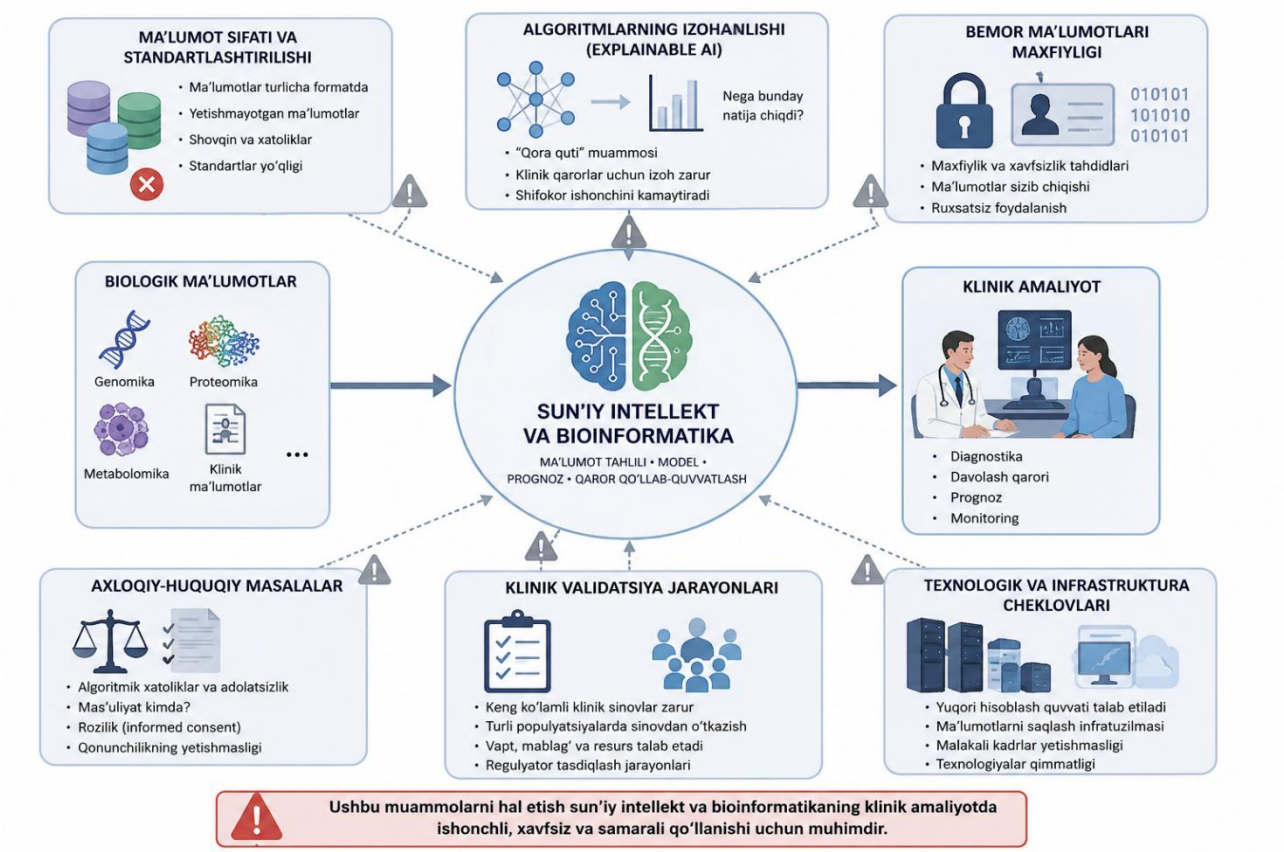
Kirish. So'nggi o'n yillikda genomika, transkriptomika, proteomika va metabolomika kabi yuqori o'tkazuvchan ("high-throughput omics") texnologiyalarning rivojlanishi natijasida biologik va klinik ma'lumotlar hajmi misli ko'rilmagan darajada ortdi. Ushbu ma'lumotlarni samarali qayta ishlash va ularning klinik ahamiyatini aniqlash bioinformatika hamda sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarining jadal rivojlanishiga turtki berdi. [2,6] Zamonaviy sog'liqni saqlash tizimida aynan ushbu ikki yo'nalishning integratsiyasi shaxsiy tibbiyot (Personalized Medicine) konsepsiyasini amaliyotga tatbiq etishning asosiy omillaridan biri sifatida qaralmoqda. So'nggi ilmiy sharhlarda sun'iy intellekt va bioinformatika genomik ma'lumotlarni tahlil qilish, kasalliklarni prognozlash hamda individual davolash strategiyalarini ishlab chiqishda muhim texnologik platformaga aylangani ta'kidlanmoqda. [1,11,12]

An'anaviy tibbiyot amaliyotida bemorlarga asosan kasallik tashxisi va klinik belgilariga asoslangan standart davolash usullari qo'llaniladi. Biroq inson

organizmidagi genetik polimorfizmlar, epigenetik o‘zgarishlar, mikrobiom tarkibi, metabolik xususiyatlar va tashqi muhit omillari bir xil tashxisga ega bemorlarda ham davolash samaradorligining sezilarli farq qilishiga sabab bo‘ladi. Shu bois zamonaviy tibbiyot “bir xil davolash — barcha uchun” tamoyilidan voz kechib, har bir bemorning molekulyar va genetik xususiyatlariga asoslangan individual yondashuvni rivojlantirishga o‘tmoqda. [11,12] Bu yondashuv kasalliklarni erta aniqlash, dori vositalarini individual tanlash va nojo‘ya ta’sirlarni kamaytirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Shaxsiy tibbiyotning muvaffaqiyatli rivojlanishi ko‘p qatlamli biologik ma’lumotlarni (multi-omics) yagona tizimda integratsiyalash va tahlil qilish imkoniyatiga bevosita bog‘liq. Bioinformatika DNK va RNK ketma-ketliklarini tahlil qilish, gen ekspressiyasini baholash, biomarkerlarni aniqlash, oqsil tuzilishini modellashtirish hamda biologik jarayonlarni kompyuter algoritmlari asosida tavsiflash imkonini beradi. Sun’iy intellektning mashinali o‘qitish (Machine Learning) va chuqur o‘qitish (Deep Learning) algoritmlari esa murakkab biologik ma’lumotlar orasidagi yashirin bog‘liqliklarni aniqlash, kasalliklarning rivojlanish xavfini prognozlash va klinik qaror qabul qilish jarayonini qo‘llab-quvvatlashda yuqori aniqlikni namoyon etmoqda. [2,6,8]

Bugungi kunda sun’iy intellekt va bioinformatika onkologiya, farmakogenomika, kardiologiya, nevrologiya hamda kam uchraydigan irsiy kasalliklarni aniqlashda keng qo‘llanilmoqda. Ayniqsa, genomik ma’lumotlar bilan ishlash, oqsil tuzilishini bashorat qilish, yangi dori nomzodlarini aniqlash va individual davolash rejalarini ishlab chiqishda ushbu texnologiyalar sog‘liqni saqlash tizimining samaradorligini sezilarli oshirmoqda. [9,10] Protein strukturasini sun’iy intellekt yordamida aniqlash va dori yaratish jarayonlarini optimallashtirish biologiya hamda biotexnologiyada yangi ilmiy bosqichni boshlab berdi.



1-rasm. *Sun'iytellekt va bioinformatikani klinik amaliyotga o'tkazishdagi jiddiy muammolar va cheklovchilar.*

Shu bilan birga, sun'iy intellekt va bioinformatikani klinik amaliyotga keng joriy etish qator muammolar bilan ham bog'liq. Jumladan, biologik ma'lumotlarning sifati va standartlashtirilishi, algoritmlarning izohlanishi (Explainable AI), bemor ma'lumotlari maxfiyligi, axloqiy-huquqiy masalalar hamda klinik validatsiya jarayonlari ushbu texnologiyalarning keng qo'llanilishini cheklovchi asosiy omillar sifatida e'tirof etilmoqda. Shu sababli ilmiy hamjamiyat sun'iy intellektning yuqori aniqligini klinik ishonchlilik, shaffoflik va xavfsizlik talablari bilan uyg'unlashtirish bo'yicha yangi metodologiyalarni ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratmoqda. [3,7,15]

Mazkur tadqiqotning maqsadi bioinformatika va sun'iy intellekt texnologiyalarining shaxsiy tibbiyotdagi zamonaviy imkoniyatlarini ilmiy adabiyotlar asosida tizimli tahlil qilish, ularning kasalliklarni erta diagnostika qilish, individual

davolash strategiyalarini shakllantirish va zamonaviy tibbiy-biotexnologik yechimlarni ishlab chiqishdagi ilmiy hamda amaliy ahamiyatini baholashdan iborat.

Materiallar va metodlar. Mazkur tadqiqot tizimli adabiyotlar tahlili (Systematic Literature Review) metodologiyasiga asoslangan bo‘lib, shaxsiy tibbiyotda sun’iy intellekt va bioinformatika texnologiyalarining zamonaviy imkoniyatlarini baholash maqsadida amalga oshirildi. Tadqiqot jarayonida xalqaro ilmiy ma’lumotlar bazalarida indekslangan ilmiy maqolalar, sharhlar va metodik tavsiyalar tahlil qilindi.

Adabiyotlarni qidirish **Scopus**, **Web of Science**, **PubMed**, **IEEE Xplore** hamda **Google Scholar** ma’lumotlar bazalarida amalga oshirildi. Qidiruv jarayonida *“Personalized Medicine”*, *“Precision Medicine”*, *“Artificial Intelligence”*, *“Bioinformatics”*, *“Machine Learning”*, *“Deep Learning”*, *“Genomics”*, *“Multi-omics”*, *“Pharmacogenomics”* va *“Clinical Decision Support”* kalit so‘zlari alohida hamda Boolean operatorlari (**AND**, **OR**) yordamida turli kombinatsiyalarda qo‘llanildi.

Tahlil uchun 2020–2026-yillarda nufuzli xalqaro jurnallarda chop etilgan ilmiy maqolalar tanlab olindi. Tadqiqotga faqat to‘liq matni mavjud, ingliz tilida chop etilgan va Scopus yoki Web of Science bazalarida indekslangan manbalar kiritildi. Takrorlangan nashrlar, faqat qisqa annotatsiyadan iborat materiallar, ilmiy ekspertizadan o‘tmagan manbalar hamda mavzuga bevosita aloqador bo‘lmagan maqolalar tahlildan chiqarib tashlandi.

Saralab olingan ilmiy manbalar kontent tahlili, qiyosiy tahlil va tematik sintez usullari asosida baholandi. Tahlil davomida sun’iy intellekt va bioinformatikaning shaxsiy tibbiyotdagi asosiy qo‘llanilish yo‘nalishlari, jumladan genomik ma’lumotlarni tahlil qilish, biomarkerlarni aniqlash, kasalliklarni erta diagnostika qilish, farmakogenomika, klinik qarorlarni qo‘llab-quvvatlash hamda yangi dori vositalarini yaratishdagi imkoniyatlari tizimli ravishda umumlashtirildi. Shuningdek, ushbu

texnologiyalarni klinik amaliyotga joriy etishda uchraydigan ilmiy, texnologik va etik muammolar ham qiyosiy tahlil qilindi.

Olingan natijalar zamonaviy ilmiy adabiyotlarda qayd etilgan dalillar asosida umumlashtirilib, shaxsiy tibbiyotda sun’iy intellekt va bioinformatika texnologiyalarining ilmiy-amaliy ahamiyati hamda rivojlanish istiqbollari kompleks baholandi.

Natijalar va muhokama. Tizimli adabiyotlar tahlili natijalari shuni ko‘rsatdiki, bioinformatika va sun’iy intellekt texnologiyalarining integratsiyasi shaxsiy tibbiyot rivojlanishining asosiy ilmiy-texnologik yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Tahlilga kiritilgan ilmiy manbalarda ushbu texnologiyalar genomik ma’lumotlarni qayta ishlash, kasalliklarni erta aniqlash, biomarkerlarni identifikatsiya qilish, farmakogenomik tahlillarni amalga oshirish hamda individual davolash strategiyalarini ishlab chiqishda yuqori samaradorlikka ega ekani qayd etilgan.

Tahlil natijalariga ko‘ra, sun’iy intellekt algoritmlarining eng muhim afzalligi millionlab genomik va klinik ma’lumotlarni qisqa vaqt ichida qayta ishlash hamda inson tomonidan aniqlanishi qiyin bo‘lgan murakkab biologik bog‘liqliklarni aniqlash imkoniyatidir. Ayniqsa, mashinali o‘qitish (Machine Learning) va chuqur o‘qitish (Deep Learning) algoritmlari DNK ketma-ketliklari, gen ekspressiyasi profillari, proteomik va metabolomik ma’lumotlarni kompleks tahlil qilish orqali kasalliklarning molekulyar mexanizmlarini chuqurroq tushunishga xizmat qilmoqda.

Bioinformatika platformalari esa yuqori o‘tkazuvchan sekvenslash (Next Generation Sequencing, NGS) natijasida olingan katta hajmdagi genomik ma’lumotlarni standartlashtirish, annotatsiya qilish va biologik jihatdan talqin etishda asosiy vosita sifatida namoyon bo‘lmoqda. Mazkur texnologiyalar yordamida irsiy mutatsiyalarni aniqlash, genetik variantlarning klinik ahamiyatini baholash hamda yangi biomarkerlarni izlash imkoniyatlari sezilarli darajada kengaygan. Bu esa

kasalliklarni simptomlar namoyon bo‘lishidan oldin prognoz qilish va individual profilaktik choralarni ishlab chiqishda muhim ilmiy asos yaratmoqda.

Tahlil qilingan ilmiy manbalarda sun’iy intellektning onkologiya, kardiologiya, nevrologiya va infeksion kasalliklar diagnostikasida yuqori aniqlik bilan qo‘llanilishi qayd etilgan. Xususan, ko‘p omilli klinik va molekulyar ma’lumotlarni integratsiyalash orqali AI algoritmlari xavf guruhidagi bemorlarni aniqlash, davolash samaradorligini prognoz qilish hamda kasallikning rivojlanish ehtimolini baholashda an’anaviy statistik usullarga nisbatan yuqori natijalarni ko‘rsatmoqda. Shu bilan birga, farmakogenomika yo‘nalishida bioinformatika va sun’iy intellekt bemorning genetik xususiyatlarini hisobga olgan holda eng maqbul dori vositasini va uning individual dozasini tanlash imkonini bermoqda. Natijada davolash samaradorligi ortib, nojo‘ya dori reaksiyalari xavfi kamaymoqda.

Tahlil natijalari shuningdek, sun’iy intellektning yangi dori vositalarini yaratish jarayonini sezilarli tezlashtirayotganini ko‘rsatdi. Oqsil tuzilishini bashorat qilish, molekulyar docking, virtual skrining hamda biologik faol birikmalarni saralashda qo‘llanilayotgan zamonaviy algoritmlar dori ishlab chiqish muddatini qisqartirish va iqtisodiy xarajatlarni kamaytirishga xizmat qilmoqda. Ayniqsa, chuqur o‘qitish algoritmlariga asoslangan oqsil strukturasini bashorat qilish texnologiyalari yangi terapevtik nishonlarni aniqlash imkoniyatlarini kengaytirmoqda.

1-jadval.

Bioinformatika va sun’iy intellektning shaxsiy tibbiyotdagi asosiy qo‘llanilish yo‘nalishlari

Qo‘llanilish yo‘nalishi	**Bioinformatikaning vazifasi**	**Sun’iy intellektning vazifasi**	**Shaxsiy tibbiyotdagi ahamiyati**
Genomik tahlil	DNK ketma-ketliklarini tahlil qilish, genetik variantlarni	Patogen mutatsiyalarni aniqlash va kasallik	Irsiy kasalliklarni erta aniqlash va individual

Qo‘llanilish yo‘nalishi	Bioinformatikaning vazifasi	Sun’iy intellektning vazifasi	Shaxsiy tibbiyotdagi ahamiyati
	aniqlash	xavfini prognozlash	profilaktika
Transkriptomika	Gen ekspressiyasi ma’lumotlarini qayta ishlash	Kasallik bilan bog‘liq ekspressiya modellarini aniqlash	Molekulyar diagnostika va biomarkerlarni topish
Proteomika	Oqsil tarkibi va funksiyasini tahlil qilish	Oqsillar o‘rtasidagi murakkab bog‘liqliklarni modellashtirish	Kasallik mexanizmlarini aniqlash va terapevtik nishonlarni belgilash
Metabolomika	Metabolitlar profilini tahlil qilish	Metabolik o‘zgarishlarni prognoz qilish	Kasalliklarning metabolik biomarkerlarini aniqlash
Farmakogenomika	Dori metabolizmiga ta’sir qiluvchi genlarni aniqlash	Dori vositalariga individual javobni bashorat qilish	Shaxsga mos dori va optimal dozani tanlash
Kasalliklarni diagnostika qilish	Klinik va molekulyar ma’lumotlarni integratsiyalash	Tasvirlar va klinik ma’lumotlar asosida tashxis qo‘yish	Erta va aniq diagnostikani ta’minlash
Prognozlash	Biomarkerlar va klinik ko‘rsatkichlarni baholash	Kasallik rivojlanishini va xavf darajasini prognozlash	Individual kuzatuv va profilaktika rejasini ishlab chiqish

Qo‘llanilish yo‘nalishi	Bioinformatikaning vazifasi	Sun’iy intellektning vazifasi	Shaxsiy tibbiyotdagi ahamiyati
Yangi dori vositalarini yaratish	Biologik nishonlarni aniqlash va molekulyar ma’lumotlarni tahlil qilish	Molekulalarni virtual skrining qilish, oqsil tuzilishini bashorat qilish va dori nomzodlarini saralash	Dori yaratish muddatini qisqartirish va samaradorligini oshirish
Klinik qarorlarni qo‘llab-quvvatlash	Turli manbalardan olingan ma’lumotlarni yagona platformaga birlashtirish	Shifokorlarga real vaqt rejimida tavsiyalar ishlab chiqish	Individual davolash strategiyasini optimallashtirish

Izohi: Bioinformatika va sun’iy intellekt texnologiyalari genomik ma’lumotlarni tahlil qilishdan boshlab individual davolash strategiyasini ishlab chiqishgacha bo‘lgan barcha bosqichlarda o‘zaro integratsiyalashgan holda qo‘llaniladi. Ularning uyg‘unlashuvi diagnostika aniqligini oshirish, davolash samaradorligini yaxshilash va shaxsiy tibbiyot konsepsiyasini amaliyotga samarali tatbiq etishga xizmat qiladi.

Shu bilan birga, ilmiy adabiyotlar tahlili ushbu texnologiyalarni keng joriy etishda ayrim cheklovlar mavjudligini ham ko‘rsatdi. Biologik ma’lumotlarning standartlashtirilmaganligi, ma’lumotlar xavfsizligi va maxfiyligini ta’minlash, sun’iy intellekt algoritmlarining izohlanish darajasi hamda klinik validatsiya masalalari hali ham dolzarb muammolar qatorida qolmoqda. Mazkur muammolarni bartaraf etish xalqaro standartlarga mos ma’lumotlar bazalarini shakllantirish, algoritmlarning shaffofligini oshirish va klinik sinovlarni kengaytirishni talab etadi.

Umuman olganda, o‘tkazilgan tizimli tahlil bioinformatika va sun’iy intellekt texnologiyalarining shaxsiy tibbiyotning barcha bosqichlarida — kasallik xavfini

prognoz qilish, erta diagnostika, individual davolash strategiyalarini ishlab chiqish va yangi dori vositalarini yaratishda strategik ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatdi. Ushbu texnologiyalarning yanada takomillashuvi kelgusida sog‘liqni saqlash tizimida aniq, tezkor va iqtisodiy jihatdan samarali tibbiy xizmatlarni rivojlantirish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Xulosa. Mazkur tadqiqot natijalari bioinformatika va sun’iy intellekt texnologiyalari shaxsiy tibbiyotning rivojlanishida strategik ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatdi. [1,2,6] Tizimli adabiyotlar tahlili asosida genomik, transkriptomik, proteomik va boshqa ko‘p qatlamli biologik ma’lumotlarni integratsiyalash hamda ularni sun’iy intellekt algoritmlari yordamida tahlil qilish kasalliklarni erta aniqlash, individual xavfni baholash va bemorga mos davolash strategiyasini ishlab chiqishda yuqori samaradorlikka ega ekani aniqlandi. [5,7]

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, bioinformatika katta hajmdagi biologik ma’lumotlarni qayta ishlash va ularning biologik mazmunini izohlash imkonini bersa, sun’iy intellekt ushbu ma’lumotlar asosida murakkab qonuniyatlarni aniqlash, klinik qarorlarni qo‘llab-quvvatlash hamda dori vositalariga individual javobni prognozlashda muhim rol o‘ynaydi. Ushbu texnologiyalarning integratsiyasi diagnostika aniqligini oshirish, davolash samaradorligini yaxshilash, nojo‘ya dori reaksiyalarini kamaytirish va sog‘liqni saqlash tizimida resurslardan oqilona foydalanishga xizmat qiladi.

Shu bilan birga, bioinformatika va sun’iy intellektni klinik amaliyotga keng joriy etish biologik ma’lumotlarni standartlashtirish, ma’lumotlar xavfsizligi va maxfiyligini ta’minlash, algoritmlarning izohlanishini oshirish hamda ularni keng ko‘lamli klinik sinovlar orqali validatsiya qilishni talab etadi. Ushbu yo‘nalishlarda xalqaro standartlarga mos ilmiy va texnologik yechimlarni ishlab chiqish kelgusidagi tadqiqotlarning ustuvor vazifalaridan biri bo‘lib qoladi. [8,10]

Kelgusida ko‘p qatlamli biologik ma’lumotlar (multi-omics), sun’iy intellekt, bulutli hisoblash va yuqori unumli hisoblash texnologiyalarining uyg‘unlashuvi shaxsiy tibbiyotning yanada takomillashishiga xizmat qilishi kutilmoqda. Bu esa kasalliklarni oldindan prognoz qilish, individual davolash yondashuvlarini keng joriy etish hamda yangi avlod dori vositalarini yaratishda bioinformatika va sun’iy intellektning ilmiy-amaliy ahamiyatini yanada oshiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ghebrehiwet, I., Zaki, N., Damseh, R., va boshq. (2024). *Revolutionizing personalized medicine with generative AI: A systematic review*. Artificial Intelligence Review, 57, 128.
2. Olawade, D. B., Kade, A., Egbon, E., va boshq. (2025). *Bioinformatics and artificial intelligence in genomic data analysis: Current advances and future directions*. Molecular Genetics and Genomics, 300(1), 111.
3. Zhou, Z., Hu, M., Salcedo, M., va boshq. (2023). *XAI meets Biology: A Comprehensive Review of Explainable AI in Bioinformatics Applications*. arXiv.
4. Wang, Z., Wang, Z., Jiang, J., va boshq. (2025). *Large Language Models in Bioinformatics: A Survey*. arXiv.
5. Mishra, A., Majumder, A., Kommineni, D., va boshq. (2025). *Role of Generative Artificial Intelligence in Personalized Medicine: A Systematic Review*. Cureus, 17(4).
6. Zhang, Y., Li, X., Wang, H., va boshq. (2025). *Artificial intelligence in bioinformatics: A survey*. Briefings in Bioinformatics, 26(6).
7. Li, J., Chen, Y., Zhao, X., va boshq. (2025). *Recent Progress and Challenges of Artificial Intelligence in Bioinformatics and New Medicine*. Applied Sciences, 15(17), 9598.
8. Ahmed, S., Rahman, M., Khan, T., va boshq. (2025). *Large Language Models*

in Genomics—A Perspective on Personalized Medicine. Bioengineering, 12(5), 440.

9. Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., va boshq. (2021). *Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold*. Nature, 596, 583–589.
10. Varadi, M., Anyango, S., Deshpande, M., va boshq. (2022). *AlphaFold Protein Structure Database: Massively expanding the structural coverage of protein-sequence space with high-accuracy models*. Nucleic Acids Research, 50(D1), D439–D444.
11. Topol, E. J. (2019). *High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence*. Nature Medicine, 25, 44–56.
12. Collins, F. S., & Varmus, H. (2015). *A new initiative on precision medicine*. New England Journal of Medicine, 372(9), 793–795.
13. Hood, L., & Flores, M. (2012). *A personal view on systems medicine and the emergence of proactive P4 medicine*. New Biotechnology, 29(6), 613–624.
14. National Human Genome Research Institute. (2024). *Genomics and Precision Medicine*. Bethesda, MD, USA.
15. World Health Organization. (2023). *Ethics and governance of artificial intelligence for health*. Geneva, Switzerland.