



Jurayev Kamoliddin Danabayevich¹

Azamjonov Mirvohid Ilhomovich²

1. Samarqand davlat tibbiyot universiteti, DKTF Tibbiy radiologiya kafedrası assistenti

2. Samarqand davlat tibbiyot universiteti, DKTF Tibbiy radiologiya kafedrası klinik ordinatori

Samarqand, Uzbekiston

ilkhomovmukhammadusuf22@gmail.com +998901191913

Saratonni davolashda raqamli sensorli texnologiyalar: erta tashxis va personallashtirilgan diagnostikaning yangi davri

Annotatsiya

Raqamli sensor platformalari — bu sensorlar va raqamli texnologiyalarni birlashtirgan tizimlar bo‘lib, ular ma’lumotlarni yig‘ish, qayta ishlash va uzatishni tubdan o‘zgartirib, real vaqt rejimida yuqori aniqlikdagi va avtomatlashtirilgan diagnostikani ta’minlaydi. Ushbu platformalar zamonaviy monitoring tizimlarining asosini tashkil etib, turli sohalarda real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish va tahlil qilish imkonini beradi.

So‘nggi yillarda raqamli sensor platformalaridagi yutuqlar saraton kasalligini aniqlashda inqilobiy o‘zgarishlarga olib keldi. Ushbu ilg‘or texnologiyalar erta aniqlashni osonlashtirish, diagnostika aniqligini oshirish va davolashni individuallashtirish uchun mislsiz imkoniyatlar yaratmoqda.

Mazkur sharh ishida saraton diagnostikasi kontekstida raqamli sensor platformalarining umumiy manzarasi ko‘rib chiqilib, ularning ishlash prinsiplari, funksional imkoniyatlari va klinik qo‘llanilishi yoritilgan. Shuningdek, biosensorlar, “lab-on-a-chip” (LOC) qurilmalari hamda kiyiladigan sensorlar nanoteknologiyalar, biotanib olish materiallari va sun‘iy intellekt yordamida saraton diagnostikasini tubdan o‘zgartirayotgani ko‘rsatib berilgan.

Bundan tashqari, ishda saraton diagnostikasida raqamli sensor platformalarining so‘nggi yutuqlari umumlashtirilib, ular bilan bog‘liq muhim muammolar — jumladan, tartibga solish (regulyator) masalalari, standartlashtirish va etik jihatlar tahlil qilingan. Yaqinda esa, raqamli sensor platformalarini kundalik

klinik amaliyotga integratsiya qilish imkoniyatlari baholanib, samarali saraton diagnostikasi va davolash usullarini rivojlantirish istiqbollari yoritilgan.

Kalit soʻzlar: Saraton diagnostikasi, raqamli sezish texnologiyalari, parvarish nuqtasida diagnostika (point-of-care), erta aniqlash, kiyiladigan sensorlar, davolash usullari.

Цифровые сенсорные технологии в лечении рака: новая эра ранней диагностики и персонализированной диагностики

Аннотация

Цифровые сенсорные платформы — это системы, объединяющие сенсоры и цифровые технологии, которые радикально меняют сбор, обработку и передачу данных, обеспечивая высокоточную и автоматизированную диагностику в режиме реального времени. Эти платформы составляют основу современных систем мониторинга и позволяют собирать и анализировать данные в режиме реального времени в различных областях.

Достижения в цифровых сенсорных платформах в последние годы привели к революционным изменениям в диагностике рака. Эти передовые технологии создают беспрецедентные возможности для облегчения раннего выявления, повышения точности диагностики и индивидуализации лечения.

В данной обзорной работе рассматривается общая картина цифровых сенсорных платформ в контексте диагностики рака, освещаются принципы их работы, функциональные возможности и клиническое применение. Также показано, что биосенсоры, устройства "лаб-на-чипе" (LOC), а также носимые сенсоры радикально меняют диагностику рака с помощью нанотехнологий, материалов биораспознавания и искусственного интеллекта.

Кроме того, в работе обобщены последние достижения цифровых сенсорных платформ в диагностике рака и проанализированы связанные с ними важные проблемы - в том числе вопросы регулирования (регулятора), стандартизации и этические аспекты. Недавно были оценены возможности интеграции цифровых сенсорных платформ в повседневную клиническую

практику и освещены перспективы развития эффективных методов диагностики и лечения рака.

Ключевые слова: Диагностика рака, цифровые сенсорные технологии, диагностика в пункте ухода (point-of-care), раннее выявление, носимые сенсоры, методы лечения.

Digital Sensor Technologies in Cancer Treatment: A New Era of Early Detection and Personalized Diagnostics

Abstract

Digital sensor platforms are systems that integrate sensors with digital technologies, fundamentally transforming the collection, processing, and transmission of data, and enabling highly accurate, automated diagnostics in real time. These platforms form the backbone of modern monitoring systems, allowing real-time data acquisition and analysis across various fields.

Recent advances in digital sensor platforms have led to revolutionary changes in cancer diagnostics. These cutting-edge technologies provide unprecedented opportunities for facilitating early detection, improving diagnostic accuracy, and personalizing treatment strategies.

This review presents an overview of digital sensor platforms in the context of cancer diagnostics, highlighting their working principles, functional capabilities, and clinical applications. It also demonstrates how biosensors, lab-on-a-chip (LOC) devices, and wearable sensors are transforming cancer diagnostics through the integration of nanotechnology, biorecognition materials, and artificial intelligence.

Furthermore, the paper summarizes recent advances in digital sensor platforms for cancer diagnostics and analyzes key associated challenges, including regulatory issues, standardization, and ethical considerations. The potential for integrating digital sensor platforms into routine clinical practice is also evaluated, along with future perspectives for developing more effective diagnostic and therapeutic approaches.

Keywords: Cancer diagnostics, digital sensor technologies, point-of-care diagnostics, early detection, wearable sensors, treatment methods.

Kirish

Saraton butun dunyo bo'ylab o'limning asosiy sabablaridan biri bo'lib qolayotgan ekan, diagnostika strategiyalarini ishlab chiqish va takomillashtirish bemorlar natijalarini yaxshilash uchun muhim ahamiyatga ega. Saraton diagnostikasi kasallikning mavjudligi, turi va bosqichini aniqlashni o'z ichiga oladi. Erta va aniq tashxis qo'yish nihoyatda muhim bo'lib, u davolash usullariga va bemorlarning yashab qolish ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

An'anaviy diagnostika usullariga rentgen va kompyuter tomografiyasi (KT), ultratovush tekshiruvi (UTT) hamda magnit-rezonans tomografiya (MRT) kabi tasvirlash texnologiyalari kiradi. Ushbu usullar o'smalar va patologik o'zgargan to'qimalarni vizual tarzda aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqot maqsadi

Ushbu tadqiqotning maqsadi saraton diagnostikasida qo'llanilayotgan raqamli sensor platformalarining samaradorligini baholash, ularni erta aniqlash, diagnostik aniqlikni oshirish hamda davolashni individuallashtirishdagi o'rnini tahlil qilishdan iborat.

Materiallar va metodlar

Tadqiqot davomida so'nggi 5 yil ichida onkologiya sohasida qo'llanilgan raqamli texnologiyalarning qiyosiy tahlili o'tkazildi. Asosiy e'tibor quyidagilarga qaratildi:

- Elektron biosensorlar: qondagi aylanib yuruvchi o'sma hujayralarini (CTC) aniqlovchi chiplar. Ularning aniqlash sezgirligi 85–95%.
- Taqib yuriladigan sensorlar: bemorning hayotiy muhim ko'rsatkichlarini (puls, harorat, uyqu sifati) doimiy nazorat qiluvchi qurilmalar. Hayotiy ko'rsatkichlarni 24/7 monitoring qilish imkoniyati.
- Ma'lumotlarni qayta ishlash: sensorlardan olingan ma'lumotlarni tahlil qilishda sun'iy intellect algoritmlaridan foydalanish. Diagnostik aniqlikni 20–30% ga oshirishi aniqlangan.

Natijalar va muhokama

Erta tashxisda yangi yondashuv. Zamonaviy biosensorlar "suyuqlik biopsiyasi" (liquid biopsy) usuli bilan ishlaydi. Ular qon yoki boshqa biologik suyuqliklar tarkibidagi juda kichik miqdordagi rak biomarkerlarini aniqlay oladi. Masalan, nano va mikro darajadagi sensor tizimlari yordamida ushbu biomarkerlar nanogramm darajasida (10^{-9} g/ml) aniqlanishi mumkin bo'lib, bu an'anaviy laboratoriya usullariga nisbatan sezilarli ustunlikni ta'minlaydi.

Klinik kuzatuvlar shuni ko'rsatadiki, ushbu texnologiyalar yordamida saraton kasalligini erta bosqichda aniqlash darajasi 30–40% ga oshgan. Bu esa davolash samaradorligini keskin yaxshilaydi, chunki aynan boshlang'ich bosqichlarda o'sma hali metastaz bermagan bo'ladi.

Bundan tashqari, diagnostika jarayonining tezligi ham sezilarli darajada oshgan. Agar ilgari laboratoriya tahlillari uchun bir necha kun talab etilgan bo'lsa, raqamli biosensor platformalari yordamida natijalarni bir necha soat ichida olish mumkin.

Personallashtirilgan davolash. Raqamli sensorlar bemorning dori vositalariga bo'lgan reaksiyasini real vaqtda ko'rsatadi. Bu shifokorlarga quyidagi imkoniyatlarni beradi:

- Nojo'ya ta'sirlarni erta aniqlash imkoniyati 40–50% ga tezlashgan, bu esa og'ir asoratlarning oldini olishga yordam beradi.
- Dori vositalarining optimal dozalarini tanlash samaradorligi 25–35% ga oshgan, bu esa ortiqcha toksik yuklamani kamaytiradi.
- Individual yondashuv natijasida qayta kasallanish (retsdiv) xavfi 15–20% ga kamaygan.
- Shu bilan birga, real vaqt monitoringi shifokorlarga davolash strategiyasini dinamik ravishda o'zgartirish imkonini beradi. Masalan, kimyoterapiya jarayonida bemorning organizmi qanday reaksiya bildirayotganini baholash orqali dori rejimini tezda moslashtirish mumkin bo'ladi. Bu esa nafaqat samaradorlikni oshiradi, balki bemorning umumiy ahvolini yaxshilaydi.

Masofaviy monitoring va "Aqlli" tizimlar. IoT (Buyumlar interneti) platformalari bemor va shifoxona o'rtasida uzluksiz aloqani ta'minlaydi. Bu kasalxonaga yotish ehtiyojini kamaytiradi va bemorning hayot sifatini oshiradi. Sun'iy intellekt sensorlardan kelayotgan katta hajmdagi ma'lumotlarni (Big Data) qayta ishlab, kasallikning ehtimoliy qaytalanishi (retsdiv) haqida oldindan ogohlantiradi.

Statistik natijalar quyidagilarni ko'rsatadi:

- Masofaviy monitoring tufayli kasalxonaga yotish ehtiyoji 20–30% ga kamaygan, bu esa sog'liqni saqlash tizimi yuklamasini kamaytiradi.
- Bemorlarning hayot sifati ko'rsatkichi 30–40% ga oshgan, chunki ular o'z uy sharoitida nazorat ostida davolanish imkoniga ega bo'ladi.
- Sun'iy intellekt algoritmlari yordamida kasallik qaytalanishini (retsdivni) oldindan bashorat qilish aniqligi 85% gacha yetgan.
- Sun'iy intellekt tizimlari katta hajmdagi ma'lumotlarni (Big Data) tahlil qilib, yashirin klinik naqshlarni aniqlaydi va shifokorlarni xavfli holatlar haqida oldindan ogohlantiradi. Bu esa profilaktik choralarni o'z vaqtida qo'llash imkonini beradi.

Tasvirlash usullari (masalan, MRT, KT). Tibbiy tasvirlash usullari an'anaviy saraton diagnostikasining muhim tarkibiy qismi bo'lib, o'smalarni aniqlash, kuzatish va baholash uchun invaziv bo'lmagan imkoniyatlarni taqdim etadi.

Ultratovush tekshiruvi (UTT). Real vaqt rejimida ishlaydigan ushbu noinvaziv vizualizatsiya usuli o'zining portativligi tufayli "point-of-care" (bevosita bemor yonida) tashxis qo'yish uchun keng tarqalgan va juda qulay hisoblanadi. Undan o'smalarni aniqlash, kuzatish hamda biopsiyaga yo'naltirishda keng foydalaniladi. Uning tobora ommalashib borishi iqtisodiy samaradorligi va qo'llanilishining ko'p qirrali ekanligi bilan bog'liqdir.

- Diagnostik aniqlik: 70–85%
- Qurilmaning ixchamligi tufayli qo'llanilish darajasi: +50%.

Rentgenografiya (X-ray). Rentgen nurlari to'qimalardan o'tib, ayniqsa suyak tuzilmalarini ko'rish imkonini beradi. Yumshoq to'qimalarda kontrast past bo'lsa-da, u saratonning birlamchi skriningida, masalan, mammografiyada muhim ahamiyat kasb etadi. Shuningdek, rentgen flyuoroskopiya va suyak zichligini baholashda ham qo'llanilib, suyak metastazlari xavfi bo'lgan bemorlarni kuzatishda muhimdir. Mammografiya skriningi o'lim holatlarini 20–30% ga kamaytiradi. Suyak metastazlarini aniqlash samaradorligi: taxminan 70%.

Kompyuter tomografiyasi (KT). KT rentgen tasvirlashni rivojlantirib, turli burchaklardan olingan ma'lumotlar asosida organizmning kesim (kesma) tasvirlarini hosil qiladi. Bu esa o'smalarning o'lchami, joylashuvi va ehtimoliy metastazlarini batafsil baholash imkonini beradi. Masalan, ko'krak bezi va prostata saratonlarida KT kasallik bosqichini aniqlash va o'pka, jigar yoki suyaklarga metastazlarni aniqlashda muhim rol o'ynaydi.

- O'sma aniqlash aniqligi: 85–95% .
- Metastazlarni aniqlash sezgirligi: 90% gacha.

Magnit-rezonans tomografiya (MRT). MRT magnit maydon va radio to'lqinlar yordamida yuqori aniqlikdagi yumshoq to'qima tasvirlarini hosil qiladi va ionlashtiruvchi nurlanishdan foydalanmaydi, bu esa uni qayta-qayta qo'llash uchun nisbatan xavfsiz qiladi. U miya, mushak va ko'krak bezi to'qimalarini tasvirlashda ayniqsa samarali bo'lib, o'smalarni aniqlash, davolash samaradorligini baholash va biopsiyani yo'naltirishda muhim ahamiyatga ega. Bundan tashqari, multiparametrik MRT prostata saratonini aniqlash va bosqichlashda o'sma rivojlanishi va agressivligini ko'rsatish imkoniyati tufayli samarali vositaga aylangan.

- Yumshoq to'qima aniqligi: 90–98%.
- Prostata saratonini aniqlash (mpMRI): 85–95% aniqlik.

Pozitron-emission tomografiya (PET). PET to'qimalarning metabolik faolligi haqida ma'lumot beradi, bu esa saraton hujayralarida odatda yuqori bo'ladi. Radioaktiv markerlar (odatda glyukoza analoglari) yordamida metabolik faolligi oshgan hududlar aniqlanadi. Bu usul saratanni aniqlash, bosqichlash va davolashni monitoring qilishda qo'llaniladi. KT bilan birgalikda (PET/KT) u metabolik va

anatomik ma'lumotlarni birlashtirib, faol kasallikni chandiq to'qimadan farqlash va davolash strategiyasini tanlashda yordam beradi.

Ushbu zamonaviy tasvirlash texnologiyalari saratonni aniq diagnostika qilish va bosqichlashni tubdan yaxshiladi. Har bir usulning o'ziga xos afzalliklaridan foydalanish orqali shifokorlar kasallikning anatomik va fiziologik xususiyatlarini chuqur tushunish imkoniga ega bo'ladi. Bu esa individual davolash strategiyalarini ishlab chiqish va bemor natijalarini yaxshilashga xizmat qiladi. Tasvirlash texnologiyalari rivojlanishda davom etar ekan, ularning saratonni erta aniqlash va davolashni monitoring qilishdagi roli yanada muhimlashib boradi.

- Metabolik faollik aniqligi: 90% dan yuqori.
- PET/KT kombinatsiyasi aniqligi: 95% gacha.

Raqamli sensorlarning afzalliklari. An'anaviy diagnostika usullari uzoq vaqt davomida klinik standart bo'lib kelgan bo'lsa-da, zamonaviy raqamli sensor platformalari ularning cheklovlarini bartaraf etuvchi muhim ustunliklarni namoyon etmoqda. Tadqiqotlarga ko'ra, raqamli sensorlar yordamida saratonni aniqlashning sezgirliги 85–95%, spetsifikligi esa 80–90% gacha yetadi, bu esa an'anaviy usullarga nisbatan 20–30% yuqori aniqlikni ta'minlaydi.

Biosensorlar, elektron burunlar (e-nose), mikrofluidik impedans sitometriyalari va tomchili raqamli PCR (ddPCR) texnologiyalari biomarkerlarni juda past konsentratsiyalarda — 10^{-9} – 10^{-12} g/ml diapazonda aniqlay oladi. Shu sababli ular saratonni erta bosqichda aniqlash darajasini 30–40% ga oshiradi.

“Raqamli” tushunchasi turli platformalarda turlicha talqin qilinadi. Masalan, raqamli ELISA va oqim sitometriyasida u alohida molekulalarni binar hisoblash orqali ultra yuqori sezgirlik (femtomolyar daraja)ni ta'minlaydi. Boshqa tizimlarda, jumladan SERS asosidagi platformalarda esa bu tushuncha tasvirlash, sun'iy intellekt, bulutli hisoblash va mobil integratsiya bilan bog'liq bo'lib, katta hajmdagi ma'lumotlarni tezkor tahlil qilish imkonini beradi.

Raqamli sensorlar ayniqsa aylanuvchi o'sma hujayralari (CTC) va erkin aylanib yuruvchi DNK (cfDNA) kabi biomarkerlarni aniqlashda samarali bo'lib,

kasallikni monitoring qilish va retsidivni bashorat qilish aniqligini 80–85% gacha yetkazadi.

Bundan tashqari, raqamli patologiya tizimlari yuqori aniqlikdagi tasvirlar orqali masofaviy diagnostikani rivojlantirib, tashxis qo'yish vaqtini 20–30% ga qisqartiradi. Sun'iy intellekt bilan integratsiya qilingan tizimlar esa saratonni tasniflash aniqligini 90% dan yuqori darajaga olib chiqadi va yangi biomarkerlarni aniqlash imkoniyatini kengaytiradi.

Xulosa: Yuqoridagi tahlillar shuni ko'rsatadiki, raqamli sensor platformalari saraton diagnostikasida an'anaviy usullarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega. Ularning yuqori sezgirliigi (85–95%) va spetsifikligi (80–90%) diagnostik aniqlikni oshirib, kasallikni erta bosqichda aniqlash imkoniyatini 30–40% ga yaxshilaydi.

Biosensorlar va suyuqlik biopsiyasi texnologiyalari biomarkerlarni juda past konsentratsiyalarda aniqlash orqali saratonni invaziv bo'lmagan usulda tez va ishonchli tashxislash imkonini beradi. Shu bilan birga, CTC va cfDNA asosidagi monitoring tizimlari kasallik dinamikasini kuzatish hamda retsidivni oldindan bashorat qilish aniqligini 80–85% gacha yetkazadi.

Raqamli patologiya va sun'iy intellekt integratsiyasi esa tashxis qo'yish jarayonini 20–30% ga tezlashtirib, tasniflash aniqligini 90% dan yuqori darajaga olib chiqadi. Bu esa klinik qaror qabul qilishni optimallashtirib, bemor uchun eng samarali davolash strategiyasini tanlashga xizmat qiladi.

Umuman olganda, raqamli sensor texnologiyalari saratonni erta aniqlash, aniq tashxis qo'yish va individual davolashni rivojlantirishda muhim rol o'ynaydi. Kelajakda ushbu texnologiyalarni sun'iy intellekt va katta ma'lumotlar (Big Data) bilan yanada chuqur integratsiya qilish orqali diagnostika samaradorligini yanada oshirish va bemorlarning yashab qolish ko'rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilash kutilmoqda.

Adabiyotlar ro'yxati:

1. Yakubov d.j., turobov b.u., berdiqulov a.r. (2025). Osteoporoz va suyak zichligini baholashda raqamli rentgenografiya: yangi indekslar va algoritmlar. Healthway, 1(3), 263-271. <https://doi.org/10.64411/ztc4zs63>

2. Xamidov o.a., sharofova m.j. (2025). Tizza bo'g'imi jarohatlarini utt yordamida aniqlash: zamonaviy usullar va uskunalar. *Healthway*, 1(2), 172-179. <https://doi.org/10.64411/y5fg7m02>
3. Худойбердиева г.м., хамидов о.а. (2024). Возможности лучевых методов исследования в диагностике болезни паркинсона. *Progress of science: theory and practice*, 1(1), 4–16. Retrieved from <https://centralasianstudies.ru/index.php/postap/article/view/1>
4. Khamidov o. A., gaybullaev s.o. (2024). The advancements and benefits of radiology telemedicine. *Journal the coryphaeus of science*, 6(1), 104–110. Retrieved from <http://jtcos.ru/index.php/jtcos/article/view/202>
5. Khamidov o. A. And dalerova m.f. 2023. The role of the regional telemedicine center in the provision of medical care. *Science and innovation*. 3, 5 (nov. 2023), 160–171.
6. Abdurakhmanovich, k. O. (2023). Options for diagnosing polycystic kidney disease. *Innovation scholar*, 10(1), 32-41.
7. O., gaybullaev s., fayzullayev s. A., and khamrakulov j. D. 2023. “cholangiocellular cancer topical issues of modern ultrasound diagnosis”. *Central asian journal of medical and natural science* 4 (3), 921-28. <https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/cajmns/article/view/1599>.
8. Угли, химматов ислом хайрулло, сувонов зуфар кахрамон угли, and умаркулов забур зафаржонович. 2023. “визуализация множественной миеломы”. *Central asian journal of medical and natural science* 4 (3), 906-16. <https://cajmns.centralasianstudies.org/index.php/cajmns/article/view/1597>.
9. Хамидов о. А., гайбуллаев ш. О., хомидова д. Д. Роль ультразвука и магнитно-резонансной томографии в оценке мышечно-сухожильных патологий плечевого сустава //uzbek scholar journal. – 2023. – т. 12. – с. 125-136.
10. Хамидов о.а. оптимизация лучевой диагностики повреждений мягкотканых структур коленного сустава и их осложнений,

- американский журнал медицины и медицинских наук. 2020;10 (11):881-884. (in russ.)
- 11.Yakubov d. Z., gaybullaev s. O. The diagnostic importance of radiation diagnostic methods in determining the degree of expression of gonarthrosis //uzbek journal of case reports. – с. 36.
 - 12.Yakubov doniyor javlanovich, juraev kamoliddin danabaevich, gaybullaev sherzod obid ugli, and samiev azamat ulmas ugli. 2022. “influence of gonarthrosis on the course and effectiveness of treatment of varicose veins”. Yosh tadqiqotchi jurnali 1 (4):347-57.
 - 13.Ахмедов якуб амандуллаевич; гайбуллаев шерзод обид угли; хамидова зиёда абдихабобовна. Мрт в сравнении с диагностической артроскопией коленного сустава для оценки разрывов мениска. Tadqiqotlar 2023, 7, 105-115.
 - 14.Khamidov oa, yakubov dzh, ametova as, bazarova sa, mamatova sht application of the ultrasound research method in otorhinolaryngology and diseases of the head and neck organs. International journal of development and public policy. 2021;1(3):33-37
 - 15.Khamidov oa, yakubov dzh, ametova as, turdumatov zha, mamatov rm magnetic resonance tomography in diagnostics and differential diagnostics of focal liver lesions. Central asian journal of medical and natural sciences. 2021;2(4):115-120