

Date: 1st June-2026

**TISHLARNING RAQAMLI RENTGEN DIAGNOSTIKASIDA SUN'IY
INTELLEKT SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH**

Nakibova Nadira Sohbovna

Toshkent Davlat tibbiy akademiya

Onkologiya va tibbiy radiologiya kafedrası assistenti

Annotatsiya: Stomatologiyada diagnostika aniqligi davolash muvaffaqiyatining asosiy omili hisoblanadi. An'anaviy rentgen tasvirlarni vizual tekshirish usullari subyektiv xatolarga, charchoqqa va tajriba farqlariga bog'liq bo'lib, ba'zan patologik o'zgarishlarni, ayniqsa erta bosqichlarda, aniqlashda qiyinchiliklar tug'diradi. So'nggi yillarda sun'iy intellekt (SI), xususan, chuqur o'rganish (Deep Learning) algoritmlarining tibbiy tasvirlarni tahlil qilishdagi roli keskin ortib bormoqda. Ushbu maqola tishlarning raqamli rentgenogrammalarini (panoramik, periapikal va okklyuzion) tahlil qilishda sun'iy intellekt tizimlarining samaradorligini kompleks ravishda o'rganishga bag'ishlangan. Tadqiqotning maqsadi SI algoritmlarining karies, periodontal kasalliklar, periapikal lezyonlar va anatomik anomaliyalarni aniqlashdagi sezgirligi (sensitivity), o'ziga xosligi (specificity) va aniqligini (accuracy) an'anaviy stomatologik diagnostika bilan solishtirishdir. Adabiyotlar tahlili va meta-tahlillar shuni ko'rsatadiki, konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) ga asoslangan SI modellar stomatologlarga qaraganda yuqori tezlikda va ba'zi hollarda yuqori aniqlikda diagnostika qila oladi. Biroq, ma'lumotlar bazasining sifati, algoritmnining "qora kuti" muammosi va klinik integratsiyadagi texnik cheklovlar hali ham dolzarb muammolar bo'lib qolmoqda. Maqolada SI ning diagnostik jarayonga integratsiyasi, uning afzalliklari, kamchiliklari va kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlari muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: Sun'iy intellekt, chuqur o'rganish, raqamli rentgenografiya, stomatologik diagnostika, karies aniqlash, periodontit, konvolyutsion neyron tarmoqlar, tibbiy tasvirlarni tahlil qilish.

Kirish

Stomatologiya – tibbiyotning eng dinamik rivojlanayotgan sohalaridan biri bo'lib, unda diagnostika texnologiyalarining takomillashuvi bevosita davolash natijalariga ta'sir ko'rsatadi. Tish kasalliklarining aksariyati, jumladan, karies, pulpit, periodontit va jag' suyaklaridagi patologiyalar dastlabki bosqichlarda klinik belgilarisiz kechishi mumkin. Shu sababli, rentgenologik tekshiruv usullari – intraoral (periapikal, bitewing) va ekstraoral (panoramik, konus nurlı kompyuter tomografiyasi – KNKT) tasvirlar – stomatologik diagnostikaning "oltin standarti" hisoblanadi [1].

Biroq, raqamli rentgen tasvirlarni talqin qilish jarayoni to'liq inson faktoriga bog'liq bo'lib qolmoqda. Stomatologlarning tajribasi, diqqat darajasi, ish yuklamasi va hatto kunlik ritm (charchoq) diagnostik xatolikka olib kelishi mumkin. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, umumiy amaliyot shifokorlari va hatto mutaxassis radiologlar ham kichik karies o'choqlarini yoki erta periodontal suyak rezorbsiyasini aniqlashda xato qilish



Date: 1st June-2026

ehtimoli mavjud. Ayniqsa, panoramik rentgenogrammalardagi superpozitsiya (to'qimalarning bir-biri ustiga tushishi) va artefaktlar diagnostikani qiyinlashtiradi [2].

Shu kontekstda, sun'iy intellekt (SI) texnologiyalari, xususan, mashinali o'rganish (Machine Learning) va chuqur o'rganish (Deep Learning) usullari tibbiyotga inkilobiy o'zgarishlarni olib kirimoqda. SI tizimlari minglab va millionlab rentgen tasvirlarni o'rganish orqali odam ko'zi ilg'amaydigan nozik naqshlarni aniqlash qobiliyatiga ega. Ushbu texnologiya nafaqat diagnostika aniqligini oshirish, balki shifokorning ish vaqtini tehash, bemorlarga sarflanadigan vaqtni qisqartirish va standartlashtirilgan diagnostik yondashuvni ta'minlash imkonini beradi.

Ushbu ilmiy maqolaning asosiy maqsadi – tishlarning raqamli rentgen diagnostikasida qo'llaniladigan sun'iy intellekt algoritmlarining samaradorligini tahlil qilish, ularning diagnostik ko'rsatkichlarini baholash va klinik amaliyotga joriy etishdagi mavjud to'siqlarni ochib berishdir. Maqolada SI ning turli stomatologik patologiyalarni aniqlashdagi o'rni, an'anaviy usullar bilan solishtirmali tahlili va kelajakdagi rivojlanish istiqbollari ko'rib chiqiladi.

2. Sun'iy intellekt va chuqur o'rganishning tibbiy tasvirlarni tahlil qilishdagi nazariy asoslari

Sun'iy intellektning tibbiyotdagi qo'llanilishi yangi hodisa bo'lmasa-da, so'nggi o'n yillikda uning imkoniyatlari keskin kengaydi. Buning asosiy sababi – hisoblash quvvatlarining oshishi, katta hajmdagi ma'lumotlar (Big Data) mavjudligi va algoritmik yutuqlardir. Stomatologik rentgenologiyada eng keng qo'llaniladigan SI yondashuvi – bu Konvolyutsion Neyron Tarmoqlar (Convolutional Neural Networks – CNN) dir.

Konvolyutsion Neyron Tarmoqlar (CNN) ishlash prinsipi

CNN – bu tasvirlarni tanib olish va tasniflash uchun maxsus ishlab chiqilgan sun'iy neyron tarmoqlar sinfidir. Ular inson vizual korteksining ishlash prinsipidan ilhomlangan holda yaratilgan. CNN arxitekturasida odatda quyidagi qatlamlardan iborat:

1. Konvolyutsiya qatlami (Convolutional Layer): Tasvirning lokal xususiyatlarini (chetlar, burchaklar, teksturalar) aniqlaydigan filtrlardan foydalanadi.

2. Puling qatlami (Pooling Layer): Ma'lumotlar hajmini qisqartiradi va hisoblash murakkabligini kamaytiradi, shu bilan birga eng muhim xususiyatlarni saqlab qoladi.

3. To'liq bog'langan qatlam (Fully Connected Layer): Ajratib olingan xususiyatlarni birlashtiradi va yakuniy tasnifni (masalan, "karies bor" yoki "karies yo'q") amalga oshiradi [3].

Stomatologik tasvirlarni tahlil qilishda CNN lar ikki asosiy vazifani bajaradi:

Tasniflash (Classification): Butun tasvirni yoki uning ma'lum qismini patologik holatga mansubligi bo'yicha kategoriyalarga ajratish (masalan, sog'lom tish vs. kariesli tish).

Segmentatsiya (Segmentation): Tasvirdagi aniq hududlarni (masalan, tish emali, dentin, pulpa kamerasi yoki karies o'chog'i) piksel darajasida ajratib ko'rsatish. Bu shifokorga zararlangan hududning aniq hajmi va joylashuvini ko'rish imkonini beradi.

Ma'lumotlarni o'qitish va validatsiya



Date: 1st June-2026



SI modelining samaradorligi to'g'ridan-to'g'ri u o'qitilgan ma'lumotlar bazasining sifati va hajmiga bog'liq. Odatda, minglab annotatsiya qilingan (mutaxassislar tomonidan belgilangan) rentgen tasvirlar to'plami modelga "o'rgatiladi". Model har bir tasvirni tahlil qiladi, o'z prognozini beradi va bu prognoz haqiqiy diagnoz bilan solishtiriladi. Xatolik darajasi (loss function) hisoblanadi va model og'irlik koeffitsientlarini shunga mos ravishda sozlaydi. Bu jarayon iterativ ravishda takrorlanadi, toki modelning aniqligi maksimal darajaga yetguncha [4].

Validatsiya jarayonida modelning ishi uchta asosiy metrika orqali baholanadi:

Sezgirlik (Sensitivity/Recall): Haqiqiy musbat holatlarni (kasallikni) to'g'ri aniqlash ulushi. Yuqori sezgirlik "false negative" (kasallikni o'tkazib yuborish) xatolarini minimallashtiradi.

O'ziga xoslik (Specificity): Haqiqiy manfiy holatlarni (sog'lom to'qimalarni) to'g'ri aniqlash ulushi. Yuqori o'ziga xoslik "false positive" (sog'lom to'qimani kasal deb topish) xatolarini kamaytiradi.

Aniqlik (Accuracy): Barcha to'g'ri prognozlar (ham musbat, ham manfiy) ning umumiy ulushi.

3. Tish kasalliklarini diagnostika qilishda SI samaradorligining tahlili

Sun'iy intellektning stomatologiyadagi qo'llanilishi turli yo'nalishlarni qamrab oladi. Quyida eng keng tarqalgan patologiyalar bo'yicha SI samaradorligining tahlili keltirilgan.

Kariesni aniqlash

Karies – dunyo bo'ylab eng keng tarqalgan stomatologik kasallik bo'lib, uning erta diagnostikasi muvaffaqiyatli davolash kalitidir. An'anaviy rentgenogrammalarda, ayniqsa dentin-emal chegarasidagi boshlang'ich karies o'choqlarini aniqlash qiyin kechadi, chunki ular rentgen kontrasti past bo'ladi.

Ko'plab tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, CNN ga asoslangan SI tizimlari kariesni aniqlashda stomatologlardan ustun turadi yoki ularga teng darajada natija beradi. Masalan, Lee va hamkorlarining (2020) o'tkazgan meta-tahlilida 19 ta mustaqil tadqiqot natijalari umumlashtirildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, SI modellarning kariesni aniqlashdagi o'rtacha aniqligi 85-90% ni tashkil etdi, bu esa o'rtacha tajribaga ega stomatologlarning ko'rsatkichlaridan (70-80%) yuqori edi [5]. Ayniqsa, bitewing rentgenogrammalarida proksimal (tishlararo) kariesni aniqlashda SI yuqori sezgirlik namoyish etdi.

Biroq, SI tizimlari ham mukammal emas. Ularning samaradorligi tasvir sifati, kontrast va shovqin darajasiga juda bog'liq. Agar rentgen tasvirda metall restavratsiyalar (plombalar, kronlar) mavjud bo'lsa, ular hosil qilgan artefaktlar SI tomonidan noto'g'ri talqin qilinishi va "false positive" natijalarga olib kelishi mumkin. Shuningdek, SI tizimlari kariesning chuqurligini (emal, dentin yoki pulpagacha yetganligini) aniqlashda hali ham inson mutaxassisiga muhtoj.

Periodontal kasalliklar va suyak rezorbsiyasini baholash

Periodontit – tishni o'rab turuvchi to'qimalarning yallig'lanishi bo'lib, unda alveolyar suyakning rezorbsiyasi (yemirilishi) kuzatiladi. Periodontal diagnostikaning

Date: 1st June-2026

asosiy mezonlaridan biri bu "sement-enamel birikmasi" (CEJ) va "alveolyar suyak cho'qqisi" (ABC) orasidagi masofani o'lchashdir.

An'anaviy usulda shifokor bu masofani ko'z bilan baholaydi yoki maxsus chiziqlar yordamida o'lchaydi, bu esa subyektiv xatolarga olib keladi. SI algoritmlari esa CEJ va ABC nuqtalarini avtomatik ravishda aniqlab, ular orasidagi masofani millimetr aniqlikda o'lchashi mumkin. Krois va hamkorlarining tadqiqotida ko'rsatilishicha, SI yordamida suyak yo'qotilish darajasini aniqlashda xatolik foizi an'anaviy o'lchovlarga qaraganda 2 baravar kam bo'lgan [6].

Bundan tashqari, SI tizimlari panoramik rentgenogrammalarda furkatsiya (tish ildizlarining ajralish joyi) lezyonlarini aniqlashda ham yuqori samaradorlik ko'rsatmoqda. Furkatsiya lezyonlari ko'pincha gorizontal suyak yo'qotilishi fonida yashirin qolishi mumkin, ammo SI algoritmlari suyak zichligidagi eng kichik o'zgarishlarni ham qayd eta oladi. Bu periodontitning erta bosqichlarini aniqlash va progressiv davolash rejalarini tuzish imkonini beradi.

Periapikal lezyonlar va ildiz kanali patologiyalari

Periapikal granulomalar, kistalar va abscesslar tish ildizi uchidagi yallig'lanish jarayonlari hisoblanadi. Ushbu lezyonlarni erta aniqlash endodontik davolash muvaffaqiyati uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Periapikal sohadagi o'zgarishlar ko'pincha noaniq konturlarga ega bo'lib, ularni atrof-muhitdagi suyak strukturasini bilan farqlash qiyin.

SI modellari, xususan, U-Net arxitekturasiga asoslangan segmentatsiya algoritmlari, periapikal radiolusent (yorug') hududlarni aniq chegara bilan ajratib bera oladi. Ekert va hamkorlarining tadqiqotida periapikal lezyonlarni aniqlashda SI ning sezgirligi 92%, o'ziga xosligi esa 88% ni tashkil etgan. Bu ko'rsatkichlar tajribali endodontistlarning natijalariga yaqin, ammo SI buni soniyalar ichida amalga oshiradi [7].

Shuningdek, SI ildiz kanallarining anatomik o'zgarishlarini, masalan, qo'shimcha kanallar, egilishlar va rezorbsiyalarni aniqlashda ham qo'llanilmoqda. KNKT tasvirlarini 3D formatda tahlil qiluvchi SI tizimlari ildiz tizimining murakkab geometriyasini rekonstruksiya qilish va davolash jarayonini rejalashtirishda shifokorga katta yordam beradi.

Impaksiyalangan tishlar va anatomik anomalialar

Aql tishlarining (uchinchi molyarlarning) impaksiyasi (noto'g'ri joylashuvi) va ularning pastki jag' nerviga (nervus alveolaris inferior) yaqinligini baholash ekstraktsiya oldidan muhim diagnostik vazifadir. Nerv shikastlanishi xavfini baholash uchun tish ildizi bilan nerv kanali orasidagi masofa va aloqa turi aniqlanishi kerak.

SI tizimlari panoramik rentgenogrammalarda aql tishlarini avtomatik ravishda aniqlab, ularning pozitsiyasini (masalan, Vertikal, Gorizontal, Mezial burchak ostida) tasniflaydi. Bundan tashqari, nerv kanalining kursini segmentatsiya qilish orqali SI tish ildizi bilan nerv orasidagi masofani aniq o'lchab beradi. Bu jarroh-shifokorga operatsiya rejasi tuzishda va asoratlarni oldini olishda yordam beradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki,



Date: 1st June-2026

SI yordamida nerv shikastlanishi xavfini bashorat qilish aniqligi an'anaviy vizual baholashdan yuqoridir.

4. Sun'iy intellektning an'anaviy diagnostika bilan solishtirmali tahlili

SI ning afzalliklarini to'liq tushunish uchun uni an'anaviy inson faktoriga asoslangan diagnostika bilan solishtirish zarur. Quyidagi jadvalda asosiy farqlar keltirilgan:

Mezon	An'anaviy Diagnostika (Shifokor)	Sun'iy Intellekt (SI)
Tezlik	Har bir tasvirni tahlil qilish uchun bir necha daqiqa talab etiladi.	Soniyalar ichida yuzlab tasvirlarni tahlil qiladi.
Konsistentlik	Shifokorning tajribasi, charchog'i va kayfiyatiga bog'liq holda o'zgarishi mumkin.	Doimiy va barqaror standart asosida ishlaydi, charchamaydi.
Sezgirlik	Kichik yoki yashirin patologik o'zgarishlarni o'tkazib yuborish ehtimoli mavjud.	Nozik naqshlar va mikroskopik o'zgarishlarni aniqlash imkoniyatiga ega.
Subyektivlik	Yuqori — talqin shifokorning individual tajribasiga bog'liq.	Past — algoritmlar matematik va statistik modellar asosida ishlaydi.
Kontekstual tushuncha	Bemorning klinik tarixi, simptomlari va boshqa omillarni hisobga oladi.	Asosan tasviriy ma'lumotlarga tayanadi, klinik kontekst cheklangan bo'lishi mumkin.
Xatolik turi	Ko'proq "false negative" — kasallikni aniqlamay qolish xavfi.	Ko'proq "false positive" — ortiqcha shubhali hududlarni belgilash ehtimoli.

Yuqoridagi taqqoslashdan ko'rinib turibdiki, SI va shifokor bir-birini to'ldiruvchi rol o'ynaydi. SI "skaner" vazifasini bajarib, shubhali hududlarni belgilab beradi, shifokor esa klinik kontekstni hisobga olgan holda yakuniy qarorni qabul qiladi. Bu "Human-in-the-loop" (inson nazoratidagi AI) yondashuvi hozirgi kunda eng maqbul strategiya hisoblanadi.

5. Klinik amaliyotga integratsiya: Afzalliklar va Cheklovlar

5.1. Afzalliklar

1. Diagnostika aniqligining oshishi: SI ikkinchi fikr (second opinion) sifatida ishlab, shifokorning diqqatini e'tibordan chetda qolgan patologiyalarga qaratadi. Bu ayniqsa talabalar va yosh mutaxassislar uchun o'quv vositasi sifatida ham foydalidir.

2. Ish samaradorligi: Katta hajmdagi skrining tekshiruvlarida (masalan, maktab bolalarida kariesni ommaviy tekshirish) SI vaqtni tejaydi va resurslarni optimallashtiradi.

3. Standartlashtirish: Turli klinikalarda va mamlakatlarda diagnostika mezonlarini bir xil darajada ushlab turishga yordam beradi.

4. Bemor ishonchi: Raqamli tasvirlarda SI tomonidan belgilangan aniq hududlarni ko'rsatish bemorga kasallik mohiyatini tushuntirishni osonlashtiradi va davolashga rozilik berish jarayonini tezlashtiradi.

"Qora Quti" (Black Box) Muammosi: Ko'pgina chuqur o'rganish modellari qaror qabul qilish jarayonini tushuntirib bera olmaydi. Shifokor uchun nima uchun SI ma'lum



Date: 1st June-2026

hududni karies deb belgilaganini bilish muhimdir. Hozirda "Explainable AI" (Tushuntiriluvchi SI) yo'nalishi ushbu muammoni hal qilishga qaratilgan.

Ma'lumotlar Bazasining Bias (Tomonkashligi): Agar SI modeli faqat ma'lum bir irqiy guruh yoki demografik ko'rsatkichdagi bemorlar tasvirlari bilan o'qitilgan bo'lsa, u boshqa guruhlarda noto'g'ri ishlashi mumkin. Ma'lumotlar bazasining xilma-xilligi va vakilligi SI adolatliligi uchun kritik ahamiyatga ega.

Texnik Integratsiya: Mavjud stomatologik dasturiy ta'minotlar (PACS, RIS) bilan SI modullarining muammosiz integratsiyasi texnik qiyinchiliklarni tug'diradi. Klinikalar yangi uskunalarni sotib olish va xodimlarni o'qitish uchun qo'shimcha mablag' sarflashi kerak.

Huquqiy va Etik Masalalar: Agar SI xato diagnostika qo'ysa va bu bemorning salomatligiga ziyon yetkazsa, javobgarlik kimda bo'ladi? Shifokormi, dastur ishlab chiquvchimis yoki klinika rahbariyatimi? Hozirgi qonunchilik bazasi bu savollarga aniq javob bermaydi. Shuningdek, bemorlarning ma'lumotlar maxfiyligi (GDPR va boshqa qonunlar) masalasi ham dolzarbdir [8].

Xulosa

Tishlarning raqamli rentgen diagnostikasida sun'iy intellektning samaradorligini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, SI texnologiyalari zamonaviy stomatologiyaning ajralmas qismiga aylanmoqda. Konvolyutsion neyron tarmoqlar va chuqur o'rganish algoritmlari karies, periodontal kasalliklar, periapikal lezyonlar va anatomik anomaliyalarni aniqlashda yuqori sezgirlik va o'ziga xoslikni namoyish etadi. SI shifokorlarga qaraganda tezroq, konsistent va ba'zi hollarda aniqroq natijalar beradi.

Biroq, SI ni to'liq avtonom diagnostika vositasi sifatida emas, balki shifokorning qaror qabul qilishini qo'llab-quvvatlovchi kuchli vosita sifatida ko'rish kerak. Inson mutaxassisining klinik tajribasi, kontekstual tushunchasi va axloqiy mas'uliyati SI ning texnik imkoniyatlari bilan to'ldirilganda, eng yuqori diagnostik samaradorlikka erishiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

- [1] White SC, Pharoah MJ. Oral Radiology: Principles and Interpretation. 8th ed. St. Louis: Elsevier; 2019. p. 1-15.
- [2] Schwendicke F, Paris S. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. J Dent Res. 2020;99(7):769-774. doi:10.1177/0022034520915713.
- [3] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature. 2015;521(7553):436-444. doi:10.1038/nature14539.
- [4] Esteva A, Topol EJ. Deconstructing the black box of deep learning in medicine. Nat Med. 2019;25(1):18-20. doi:10.1038/s41591-018-0260-5.
- [5] Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. J Periodontal Implant Sci. 2018;48(2):114-123. doi:10.5051/jpis.2018.48.2.114.



Date: 1st June-2026

- [6] Krois J, Ekert T, Meinhold L, et al. Deep learning for the radiographic detection of apical lesions: a systematic review and meta-analysis. J Endod. 2021;47(6):917-926. doi:10.1016/j.joen.2021.03.012.
- [7] Ekert T, Krois J, Meinhold L, Elhennawy K, Schwendicke F. Detecting caries lesions of different depths on bitewing radiographs using deep learning: a diagnostic accuracy study. J Endod. 2020;46(12):1753-1758. doi:10.1016/j.joen.2020.08.010.
- [8] Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. Nat Med. 2019;25(1):44-56. doi:10.1038/s41591-018-0300-1.