SUN’IY INTELLEKT YORDAMIDA YURAK YETISHMOVCHILIGINI ERTA ANIQLASH VA TURLARINI AJRATISH (HFPEF VA HFREF)

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti 1-son Tibbiy radiologiya kafedrasi

assistenti Shakirova Lobar Mavlon qizi

lobar.shakirova33@gmail.com

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti 2-son Davolash fakulteti 213-B gurux talabasi Mahmudova Sadoqat Muxtorjon qizi

mailto:sadoqatm18@gmail.com

ABSTRACT

Ushbu maqolada sun’iy intellekt (SI) yordamida yurak yetishmovchiligini (YY) erta aniqlash va uning ikki asosiy turi — HFpEF (saqlangan ejeksiya fraksiyali yurak yetishmovchiligi — yurakning qon haydash qobiliyati normal saqlangan, ammo to‘ldirilishi buzilgan holat) va HFrEF (pasaytirilgan ejeksiya fraksiyali yurak yetishmovchiligi — yurak qonni yetarli darajada hayday olmaydigan holat) o‘rtasida farqlashning zamonaviy usullari ko‘rib chiqiladi. An’anaviy diagnostika usullari, xususan HFpEFni aniqlashda, sezilarli cheklovlarga ega. SI, ayniqsa mashinaviy o‘rganish (MO — ma’lumotlardan mustaqil ravishda o‘rganadigan algoritmlar) va chuqur o‘rganish (ChO — ko‘p qatlamli neyron tarmoqlar asosida murakkab ma’lumotlarni tahlil qilish) texnologiyalari, ekokardiyografiya (EchoKG — yurak ultratovush tekshiruvi), elektrokardiografiya (EKG — yurak elektr faolligini yozib olish) va magnit-rezonans tomografiya (MRT) ma’lumotlarini qayta ishlash orqali diagnostika aniqligini oshirish imkoniyatiga ega. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, SI-

ECG modellari HFpEFni aniqlashda sezgirlik (sensitivity — kasallikni to‘g‘ri aniqlash ehtimoli) 0.89 va o‘ziga xoslik (specificity — sog‘lomlarni to‘g‘ri aniqlash ehtimoli) 0.80 ko‘rsatkichlariga erishadi. SI yordamida HFpEF va HFrEFni ajratish fenotiplash — kasallikning klinik va biologik xususiyatlariga ko‘ra kichik guruhlarga bo‘lish orqali shaxsiylashtirilgan davolash strategiyalarini ishlab chiqishga imkon beradi. Maqolada SI ning klinik natijalarga ta’siri va kelajakdagi istiqbollari ham muhokama qilinadi.

Kalit so‘zlar: *yurak yetishmovchiligi, sun’iy intellekt, mashinaviy o‘rganish, chuqur o‘rganish, HFpEF, HFrEF, ejeksiya fraksiyasi, ekokardiyografiya, elektrokardiografiya, magnit-rezonans tomografiya, fenotiplash, erta diagnostika, shaxsiylashtirilgan davolash.*

Аннотация

В данной статье рассматриваются современные методы раннего выявления сердечной недостаточности (СН) и дифференциации двух её основных типов — HFpEF (сердечная недостаточность с сохранённой фракцией выброса — состояние, при котором насосная функция сердца сохранена, но наполнение желудочков нарушено) и HFrEF (сердечная недостаточность со сниженной фракцией выброса — состояние, при котором сердце не может перекачивать достаточное количество крови) — с использованием искусственного интеллекта (ИИ). Традиционные диагностические подходы имеют значительные ограничения, особенно в выявлении HFpEF. ИИ, в частности методы машинного обучения (МО — алгоритмы, самостоятельно обучающиеся на данных) и глубокого обучения (ГО — анализ сложных данных с помощью многослойных нейронных сетей), позволяет повысить точность диагностики за счёт обработки данных эхокардиографии (ЭхоКГ — ультразвуковое исследование сердца), электрокардиографии (ЭКГ — запись электрической активности сердца) и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Исследования показывают, что

модели ИИ-ЭКГ достигают чувствительности 0.89 и специфичности 0.80 при выявлении HFpEF. Разделение HFpEF и HFrEF с помощью ИИ посредством фенотипирования — классификации заболевания на подгруппы на основе клинических и биологических характеристик — открывает возможности для персонализированных стратегий лечения. В статье также обсуждается влияние ИИ на клинические исходы и будущие перспективы.

Ключевые слова: *сердечная недостаточность, искусственный интеллект, машинное обучение, глубокое обучение, HFpEF, HFrEF, фракция выброса, эхокардиография, электрокардиография, магнитно-резонансная томография, фенотипирование, ранняя диагностика, персонализированная медицина.*

Abstract

This review examines contemporary approaches for early detection of heart failure (HF — a clinical syndrome in which the heart is unable to pump enough blood or fill adequately to meet the body's metabolic demands) and differentiation between its two primary subtypes — HFpEF (heart failure with preserved ejection fraction — a condition where left ventricular ejection fraction is ≥50% but diastolic filling is impaired) and HFrEF (heart failure with reduced ejection fraction — a condition where left ventricular ejection fraction is ≤40% due to impaired systolic function) — using artificial intelligence (AI). Conventional diagnostic methods have significant limitations, particularly in identifying HFpEF. AI, especially machine learning (ML — algorithms that learn patterns directly from data without explicit programming) and deep learning (DL — a subset of ML utilizing multi-layered neural networks for complex pattern recognition), offers the potential to enhance diagnostic accuracy by processing data from echocardiography (echo — ultrasound imaging of the heart), electrocardiography (ECG — recording of the heart's electrical activity), and magnetic

resonance imaging (MRI). Studies demonstrate that AI-ECG models achieve a sensitivity of 0.89 and specificity of 0.80 for HFpEF detection. AI-driven phenotyping (the classification of HF into subgroups based on distinct clinical and biological characteristics) enables personalized treatment strategies. The review also discusses AI's impact on clinical outcomes and future perspectives.

Keywords: *heart failure, artificial intelligence, machine learning, deep learning, HFpEF, HFrEF, ejection fraction, echocardiography, electrocardiography, magnetic resonance imaging, phenotyping, early detection, personalized medicine.*

Yurak yetishmovchiligi (YY) — yurakning organizm metabolik ehtiyojlarini qondirish uchun yetarli miqdorda qon haydash yoki uni to‘ldirish qobiliyatining pasayishi bilan tavsiflanadigan murakkab klinik sindrom bo‘lib, butun dunyo bo‘yicha kasallanish va o‘limning asosiy sabablaridan biri hisoblanadi. So‘nggi yillarda YY ning global tarqalishi sezilarli darajada oshgan. Ilmiy tasdiqlangan birinchi statistika: 2026-yilda *Frontiers in Cardiovascular Medicine* jurnalida chop etilgan tizimli sharh va meta-tahlilga ko‘ra, yurak yetishmovchiligi dunyo bo‘ylab 64 million kishiga ta’sir qiladi, global insidans (incidence — bir yil ichida yangi kasallanganlar soni) esa 1000 kishi-yiliga 2.72 holatni (95% ishonch oralig‘i: 1.95–3.81) tashkil etadi. Ilmiy tasdiqlangan ikkinchi statistika: 2025-yilda *Journal of Cardiac Failure* jurnalida chop etilgan sharhda qayd etilishicha, AQShda taxminan 6.7 million kishi YY bilan yashaydi va bu ko‘rsatkich 2030-yilga borib 8.5 millionga yetishi kutilmoqda, shuningdek YY rivojlanishining umrbod riski (lifetime risk — hayot davomida kasallanish ehtimoli) 24% ga yetgan. Yurak yetishmovchiligi chap qorincha ejeksiya fraksiyasiga (LVEF — left ventricular ejection fraction, chap qorinchaning har bir qisqarishda haydab chiqaradigan qon hajmining foizdagi ulushi) qarab uchta asosiy kichik turga bo‘linadi: HFrEF (LVEF ≤40% — pasaytirilgan ejeksiya fraksiyali yurak yetishmovchiligi), HFmrEF (LVEF 41-49% — o‘rtacha pasaytirilgan ejeksiya fraksiyali yurak yetishmovchiligi) va HFpEF (LVEF ≥50% — saqlangan ejeksiya

fraksiyali yurak yetishmovchiligi). HFpEF global YY holatlarining taxminan yarmini tashkil etadi va qarib borayotgan populyatsiyada YY bilan bog‘liq morbiditet (morbidity — kasallanish va asoratlanish darajasi) ning asosiy sababi sifatida tan olingan.

Yurak yetishmovchiligining asosiy turlari: HFpEF va HFrEF

HFrEF (Heart Failure with reduced Ejection Fraction) — chap qorincha ejeksiya fraksiyasi ≤40% bo‘lgan holat bo‘lib, asosan sistolik disfunksiya (systolic dysfunction — yurak mushagining qisqarish qobiliyatining pasayishi) natijasida yuzaga keladi. Ushbu turdagi YYda miokard (myocardium — yurak mushak to‘qimasi) ning qisqarish qobiliyati pasaygan, natijada yurak yetarli darajada qon hayday olmaydi. HFrEF ning asosiy mexanizmi — chap qorincha kontraktilligining (contractility — yurak mushagining qisqarish kuchi) pasayishi. HFrEFda samarali davolash strategiyalari, jumladan angiotensin-reseptor neprilizin ingibitorlari (ARNI — angiotensin receptor-neprilysin inhibitor), beta-blokatorlar va mineralokortikoid retseptor antagonistlari (MRA — mineralocorticoid receptor antagonists) mayjud.

HFpEF (Heart Failure with preserved Ejection Fraction) — chap qorincha ejeksiya fraksiyasi ≥50% bo‘lgan holat bo‘lib, bunda sistolik funksiya nisbatan saqlangan, ammo diastolik disfunksiya (diastolic dysfunction — yurak mushagining bo‘shashish va qon bilan to‘lish qobiliyatining buzilishi) mavjud. HFpEF qon bosimi va qon hajmi (preload — yurakka qaytuvchi qon miqdori) nisbatan ko‘tarilgan taqdirda ham insult hajmini (stroke volume — bir qisqarishda haydaladigan qon miqdori) yetarli darajada oshira olmasligi bilan tavsiflanadi. HFpEF ning patofiziologiyasi (pathophysiology — kasallikning rivojlanish mexanizmlari) murakkab va ko‘p omilli bo‘lib, qon tomirlari, miokard, metabolik va yallig‘lanish yo‘llari buzilishlarini o‘z ichiga oladi. HFpEF ko‘pincha semizlik (obesity), gipertenziya (hypertension — yuqori qon bosimi), diabetes mellitus (qandli diabet) va yurak fibrilyatsiyasi (atrial fibrillation — yurak yordamchi bo‘lmachalarining tartibsiz

qisqarishi) kabi kasalliklar bilan birga keladi. HFpEF kasallik darajasi ortib borayotgan bo‘lib, ayrim tadqiqotlar barcha YY holatlarining 50% dan ortig‘ini tashkil etishini ko‘rsatmoqda.

Diagnostik qiyinchiliklar va ularni yengishda SI ning roli

HFpEF diagnostikasi bir qator jiddiy qiyinchiliklar bilan bog‘liq. Birinchidan, HFpEF belgilari (asosan nafas qisilishi — dyspnea) ko‘pincha boshqa kasalliklar belgilariga o‘xshab ketadi, bu esa noto‘g‘ri yoki kech tashxis qo‘yishga olib keladi. Ikkinchidan, dam olish holatida o‘tkazilgan an’anaviy EchoKG tekshiruvida diastolik disfunksiyani aniqlash qiyin bo‘lishi mumkin; ko‘pincha jismoniy yuklama ostida (exercise stress testing) o‘lchangan to‘ldirish bosimlari (filling pressures — yurak bo‘shliqlari ichidagi bosim) talab etiladi. Uchinchidan, HFpEF ning heterojen (heterogeneous — turli xil) tabiati uning yagona patofiziologik mexanizmga tayanmasligini anglatadi, bu esa universal diagnostika mezonlarini ishlab chiqishni qiyinlashtiradi. Aynan shu nuqtada sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish texnologiyalari yangi imkoniyatlar ochadi. SI katta hajmdagi klinik ma’lumotlarni (elektron sog‘liqni saqlash yozuvlari — EHR — electronic health records, biokimyoviy biomarkerlar, tasviriy tekshiruvlar) qayta ishlash va ulardagi murakkab korrelyatsiyalarni aniqlash qobiliyatiga ega. SI yordamida yurak yetishmovchiligini erta aniqlash va turlarini ajratish (HFpEF vs HFrEF) diagnostika aniqligini oshirish, shaxsiylashtirilgan davolash strategiyalarini ishlab chiqish va bemorlarning prognozini yaxshilash imkoniyatini beradi.

Mazkur maqolada: (1) YY diagnostikasidagi mavjud qiyinchiliklar, (2) HFpEF va HFrEFni SI yordamida farqlashning zamonaviy usullari, (3) biomarkerlar va tasviriy diagnostika (EchoKG, MRT) bilan SI integratsiyasi, (4) klinik natijalar va (5) kelajak istiqbollari tahlil qilinadi.

1. SUN’IY INTELLEKT VA MASHINAVIY O‘RGANISH ASOSLARI

1.1. Mashinaviy o‘rganishning asosiy turlari

Mashinaviy o‘rganish (Machine Learning, ML) — sun’iy intellektning bir sohasi bo‘lib, algoritmlarning aniq dasturlashtirilmasdan, ma’lumotlar asosida o‘rganish qobiliyatini o‘rganadi. ML odatda uchta asosiy turga bo‘linadi: Nazoratli o‘rganish (Supervised learning) — algoritmga “javoblari” (yorliqlari — labels) ma’lum bo‘lgan ma’lumotlar to‘plami beriladi. Masalan, EchoKG yoki EKG yozuvlari HFpEF yoki HFrEF deb belgilangan holda tizimga beriladi va algoritm yangi ma’lumotlarni tasniflashni o‘rganadi.

Nazoratsiz o‘rganish (Unsupervised learning) — algoritmga yorliqsiz ma’lumotlar beriladi va u o‘zi “tabiiy” guruhlarni (klasterlarni — clusters) topishi kerak. Bu HFpEF ning oldindan ma’lum bo‘lmagan fenotiplarini (phenotypes — kasallikning klinik va biologik xususiyatlariga ko‘ra kichik guruhlari) aniqlashda qo‘llanadi.

Mustahkamlovchi o‘rganish (Reinforcement learning) — algoritm atrof-muhit bilan o‘zaro ta’sir qilish orqali optimal qarorlar qabul qilish strategiyasini o‘rganadi, sinov va xato orqali “mukofot”ni maksimallashtiradi.

1.2. Chuqur o‘rganish (Deep Learning)

Chuqur o‘rganish (Deep Learning, DL) — mashinaviy o‘rganishning kichik to‘plami bo‘lib, ko‘p qatlamli (odatda 3 dan ortiq) sun’iy neyron tarmoqlaridan foydalanadi. “Chuqur” atamasi tarmoqdagi yashirin qatlamlarning (hidden layers) ko‘pligini anglatadi. DL, ayniqsa, tasvir va video ma’lumotlarni qayta ishlashda juda samarali hisoblanadi. Kardiologiyada DL asosan quyidagilarda qo‘llaniladi:

EchoKG ma’lumotlarini avtomatik tahlil qilish — DL modellari chap qorincha ejeksiya fraksiyasini (LVEF), devor harakatining buzilishlarini (wall motion abnormalities) va klapan patologiyalarini aniqlaydi. EKG ma’lumotlaridan fenotipni bashorat qilish — DL modellari 12-tarmoqli EKG yozuvlaridan HFpEF ni yuqori aniqlikda aniqlay oladi.

1.3. Tabiiy tilni qayta ishlash (Natural Language Processing, NLP)

NLP — kompyuterlarning inson tilini tushunish va qayta ishlash qobiliyatini o‘rganuvchi SI sohasi. Kardiologiyada NLP klinik matnlardan (shifokor yozuvlari, laboratoriya hisobotlari) ma’lumot ajratib olish uchun qo‘llaniladi. Featherstone va boshqalar (2025) tadqiqotida NLP random forest (RF — bir nechta qaror daraxtlarini birlashtiruvchi ML algoritmi) bilan birgalikda HF fenotiplarini (HFrEF, HFmrEF, HFpEF) 70% aniqlik va 0.76 AUROC bilan bashorat qilish uchun ishlatilgan. AUROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic curve) — diagnostik testning ishonchliligini baholovchi ko‘rsatkich bo‘lib, 1.0 ga qancha yaqin bo‘lsa, test shuncha yaxshi hisoblanadi.

2. BIOMARKERLAR VA TASVIRIY DIAGNOSTIKA (ECHOKG, MRT) BILAN AI INTEGRATSIYASI

2.1. Ekokardiyografiya asosida SI modellari

Ekokardiyografiya (Echocardiography, EchoKG) — yurakning real vaqt rejimida ultratovush yordamida tasvirlanadigan, invaziv bo‘lmagan va keng qo‘llaniladigan diagnostik usul. EchoKG yurakning tuzilishi, nasos funksiyasi, klapan holati va gemodinamik (gemodynamics — qon aylanishidagi bosim va oqim kabi kuchlar haqidagi fan) parametrlar haqida muhim ma’lumot beradi. Biroq, EchoKG ma’lumotlarini sharhlash mutaxassisning tajribasiga bog‘liq va turli shifokorlar o‘rtasida farqlar (inter-observer variability) kuzatilishi mumkin. SI va chuqur o‘rganish yordamida EchoKG ma’lumotlarini avtomatlashtirilgan tahlil qilish ushbu muammolarni hal qilishga qaratilgan. So‘nggi tadqiqotlar (2025-2026) quyidagi muhim yutuqlarni ko‘rsatmoqda: Birdan ortiq ko‘rinishli (multiview) chuqur neyron tarmoqlari (DNN). Tison va boshqalar (2026; *Nature Cardiovascular Research*) bir nechta 2D EchoKG ko‘rinishlarini bir vaqtda qayta ishlovchi multiview DNN arxitekturasini ishlab chiqqan. Ushbu model yurakning 3D anatomik tuzilmalarini 2D tasvirlar orqali tahlil qilishda shifokorning ish usuliga taqlid qiladi. Natijalar: diastolik disfunksiyani aniqlashda AUC=0.84, sezgirlik 74%, o‘ziga xoslik 78% ; chap/o‘ng

qorincha anomaliyalarida AUC=0.91. Devor qalinligi tahlili asosida erta aniqlash. Hsu Thiri Soe va Hiroyasu Iwata (2026; *IEEE Access*) tomonidan taklif qilingan DL modeli miokard infarkti (heart attack — yurak mushagining bir qismi qon bilan ta’minlanmay qolishi) bilan bog‘liq devor yupqalashishini (regional wall thinning) erta bosqichda aniqlash imkonini beradi. Natijalar: 89.3% aniqlik, 87.1% sezgirlik, 91.8% o‘ziga xoslik.

2.2. Elektrokardiografiya asosida HFpEF ni aniqlash

Elektrokardiografiya (Electrocardiography, ECG) — yurakning elektr faolligini yozib olish usuli bo‘lib, arzon, keng tarqalgan va invaziv bo‘lmagan diagnostika vositasi. An’anaviy EKG YY tashxisini qo‘yishda cheklangan sezgirlikka ega, biroq SI bilan birgalikda uning diagnostik qiymati sezilarli darajada oshadi. AI-ECG modellarining diagnostic performance. *International Journal of Cardiovascular Sciences* da chop etilgan meta-tahlil (2026) 171,073 bemorni qamrab olgan 3 ta tadqiqot natijalariga asoslangan. AI-ECG algoritmlari HFpEF ni aniqlashda sezgirlik 0.89 (95% CI: 0.64–0.97), o‘ziga xoslik 0.80 (95% CI: 0.65–0.89), AUC=0.89 (95% CI: 0.85–0.92) ko‘rsatkichlariga ega.

ERTA aniqlash imkoniyati. ECG-AI modeli HFpEF ni rasmiy tashxis qo‘yilishidan 4 yil oldin aniqlash qobiliyatiga ega. real-world ma’lumotlarda AUC 0.77 dan 0.80 gacha bo‘lgan. Bu model 65% sezgirlik va 75% o‘ziga xoslik bilan ishlagan.

An’anaviy klinik skorlar bilan taqqoslash. *Nature Communications* da chop etilgan tadqiqotda (2025) AI modeli (EchoGo Heart Failure v2) an’anaviy H2FPEF va HFA-PEFF skorlari bilan taqqoslangan. AI modeli va H2FPEF skori o‘xshash diskriminatsiya va kalibratsiyaga ega bo‘lsa-da, AI bilan tasniflash (classification) aniqligi yuqori bo‘lgan, chunki AI kamroq “oraliq” (indeterminate) natijalar bergan. HFpEF diagnostikasi ijobiy bo‘lgan bemorlarda qo‘shma natijalar (mortality + HF hospitalization) riski 2 barobar yuqori bo‘lgan.

2.3. Magnit-rezonans tomografiya (MRT) va SI

Yurak magnit-rezonans tomografiyasi (Cardiac MRI, CMR) — yurakning tuzilishi, funksiyasi va to‘qimalar tarkibini yuqori aniqlikda tasvirlaydigan diagnostik usul. CMR fibroz (fibrosis — biriktiruvchi to‘qimaning ko‘payishi) ni, miokardning energetik holatini va yallig‘lanish jarayonlarini baholash imkonini beradi. ML yordamida mexanistik baholash. ML texnikalari, jumladan chuqur konvolyutsion neyron tarmoqlari (DCNN — Deep Convolutional Neural Networks) yordamida miokard fibrozi, energetikasi va qattiqligi (myocardial stiffness) haqida avtomatlashtirilgan ma’lumotlar olinadi. Multifidelity physics-informed neyron tarmoqlari (MPINN) fizika qonunlarini neyron tarmoqlarga integratsiya qilish orqali HFpEF ning mexanik xususiyatlarini chuqurroq tahlil qilish imkonini beradi.

2.4. Elektron sog‘liqni saqlash yozuvlari va biomateriallarning integratsiyasi

Elektron sog‘liqni saqlash yozuvlari (Electronic Health Records, EHR) — bemorlarning klinik ma’lumotlarini (tashxislar, laboratoriya natijalari, retseptlar) raqamli formatda saqlaydigan tizim. EHR da SI bilan birgalikda murakkab ma’lumotlarni qayta ishlash imkoniyati mavjud. AI yordamida avtomatlashtirilgan YY aniqlash va tasniflash. 2024-2025 yillardagi tadqiqotlarda AI yordamida EHR ma’lumotlarini tahlil qilish va biomateriallar (plazma namunalari) bilan integratsiya qilish orqali bemorlarni HFrEF, HFpEF va sog‘lom nazorat guruhlariga avtomatik ajratish mumkinligi ko‘rsatilgan. EchoKG tahlili, DL bilan boyitilgan holda, chap qorincha diametri, ejeksiya fraksiyasi va miokard straini (strain — yurak mushagining deformatsiyalanish qobiliyati) kabi parametrlarda guruhlar o‘rtasidagi sezilarli farqlarni aniqlaydi.

3. HFpEF VA HFrEF NI AI YORDAMIDA FENOTIPLASH

3.1. Fenotiplash tushunchasi va ahamiyati

Fenotiplash (Phenotyping) — kasallikni uning klinik va biologik xususiyatlariga ko‘ra kichik guruhlarga (endotiplar — endotypes) ajratish jarayoni. HFpEF ayniqsa

heterojen sindrom bo‘lgani uchun fenotiplash ayniqsa muhim: turli endotiplar turli patofiziologik mexanizmlarga asoslangan va turli davolashga muhtoj.

3.2. AI yordamida HFpEF fenotiplari

Elektron sog‘liqni saqlash yozuvlari (EHR) asosida o‘tkazilgan AI yordamida fenotiplash tadqiqotlari HFpEF ni to‘rt takrorlanadigan fenoguruhga (phenogroups) bo‘lish imkonini bergan, jumladan erta HFpEF fenotipi. Ushbu fenotiplar turli xil prognozga (prognosis — kasallikning kutilayotgan kechishi) ega va turli davolash strategiyalarini talab qiladi.

3.3. An’anaviy fenotiplash bilan taqqoslash

Random forest (RF) va XGBoost kabi ML algoritmlari keksa yoshdagi bemorlarda HFpEF diagnostik aniqligi bo‘yicha H2FPEF va HFA-PEFF kabi an’anaviy skorlardan ustun ekanligi ko‘rsatilgan. Model asosidagi yondashuvlar HFrEF va HFpEF o‘rtasidagi asosiy mexanistik farqni — HFrEF da chap qorincha kontraktilligining pasayishi, HFpEF da esa yanada heterojen fenotip — aniqlash imkonini bergan.

Muhim klinik xulosa: SI mashinaviy o‘rganish usullari yordamida LVEF (ejeksiya fraksiyasi) ma’lumotlaridan mustaqil ravishda HF fenotipini bashorat qilish mumkin. Featherstone va boshqalarning tadqiqotida RF modeli faqat klinik matn va laboratoriya ma’lumotlari asosida LVEF (ejeksiya fraksiyasi) ma’lumotlariga “ko‘r” holda (ko‘r — modelga LVEF qiymati berilmagan holda) HFrEF, HFmrEF va HFpEF ni ajratgan. Bu LVEF (ejeksiya fraksiyasi) qiymatlarisiz ham fenotiplash imkoniyatini ochadi.

4. KLINIK NATIJALAR VA PROGNOSTIK BAHOLASH

4.1. SI-model asosida risk stratifikatsiyasi

Risk stratifikatsiyasi (Risk stratification) — bemorlarni kasallik rivojlanish xavfiga ko‘ra guruhlarga ajratish jarayoni. SI asosidagi modellar YY rivojlanish xavfini bashorat qilishda an’anaviy usullardan ustun ekanligini ko‘rsatmoqda.

STRATIFYHF tadqiqoti — Evropadagi 8 klinik markazda 1600 ishtirokchida o‘tkazilayotgan prospektiv, ko‘p markazli tadqiqot bo‘lib, SI asosidagi qaror qabul

qilish tizimi (DSS — Decision Support System) yordamida YY riski, tashxisi va progressiyasini bashorat qilishni maqsad qilgan. Dastlabki natijalar YY rivojlanish xavfi yuqori bo‘lgan bemorlarni aniqlashda DSS ning yuqori sezgirlik va o‘ziga xoslikka ega ekanligini ko‘rsatmoqda.

4.2. Klinik natijalarga ta’siri

Circulation jurnalida chop etilgan 45 ta tadqiqot meta-tahlili (2025) SI yordamida risk stratifikatsiyasi 5 yillik barcha sababli o‘limni 15% ga kamaytirishi bilan bog‘liq ekanligini ko‘rsatgan (hazard ratio — xavf nisbati: 0.72, 95% CI: 0.65–0.79, $p < 0.01$).

4.3. QCG-Critical EKG biomarkeri

Akut YY bilan kasallangan bemorlarda AI asosidagi EKG skori (QCG-Critical) yuqori (>0.5) bo‘lgan bemorlarda o‘lim darajasi past (<0.25) bo‘lgan bemorlarga nisbatan 2.69 barobar yuqori (adjusted hazard ratio) ekanligi aniqlangan. Bu SI asosidagi EKG tahlilining YY prognozini (prognosis — kasallikning kutilayotgan kechishi) baholashdagi ahamiyatini ko‘rsatadi.

5. KELAJAK ISTIQBOLLARI

5.1. Multimodal va katta til modellari (Large Language Models, LLMs)

Multimodal modellar — bir nechta ma’lumot turlarini (masalan, EchoKG tasvirlari + EKG signallari + EHR matn ma’lumotlari) birlashtirgan holda ishlaydigan SI modellari. 2025-2026 yillardagi eng so‘nggi ishlanmalar multimodal yondashuvlar HFpEF ni an’anaviy yagona modaliteli yondashuvlardan ancha yuqori aniqlikda aniqlash imkonini berishini ko‘rsatmoqda.

5.2. FDA tomonidan tasdiqlangan SI asboblari

Bir necha SI asboblari YY diagnostikasi va risk stratifikatsiyasi uchun FDA tomonidan tasdiqlangan yoki tasdiqlanish yoqasida turibdi:

EchoGo Heart Failure 2.0 — EchoKG asosida HFpEF ni aniqlaydi

HeartKey® Rhythm — EKG asosida aritmiya va YY riskini baholaydi

ECG-AF — atriyal fibrilyatsiya va YY riskini aniqlaydi

5.3. Muammolar va cheklovlar

SI ning keng qo‘llanilishi oldida bir qator to‘siqlar mavjud:

Ma’lumotlar maxfiyligi va xavfsizligi — EHR va imaging ma’lumotlarining ishonchli saqlanishi va ulardan foydalanish etik muammolari.

Modelning umumlashtirish qobiliyati (generalizability) — bir tibbiy markazda o‘qitilgan model boshqa markazda (ayniqsa, turli populyatsiyalarda) qanchalik ishonchli ishlashi.

Yetarlicha katta va sifatli ma’lumotlar bazalarining yo‘qligi — ayniqsa, rivojlanayotgan mamlakatlar kontekstida.

Federated learning — ma’lumotlarni markazlashtirmasdan turli markazlardan birgalikda o‘rganish imkonini beruvchi yechim.

5.4. Shaxsiylashtirilgan tibbiyot (Precision Medicine) va avtonom tizimlar

Kelajakda SI YY fenotiplari asosida shaxsga moslashtirilgan davolash (personalized therapy) ni amalga oshirish imkonini beradi. Avtonom, yopiq tizimli (closed-loop systems) yechimlar bir vaqtning o‘zida bir nechta dori vositalarini moslashtirib, miokard kislorod iste’molini kamaytirish va perfuziyani (perfusion — to‘qimalarning qon bilan ta’minlanishi) barqaror saqlash maqsadida ishlab chiqilmoqda. AQSh hukumati birinchi marta avtonom klinik yordamni rivojlantirishni moliyalashtirmoqda, bu jarayon yurak yetishmovchiligidan boshlangan.

XULOSA

Sun’iy intellekt yurak yetishmovchiligini erta aniqlash va uning HFpEF va HFrEF turlarini farqlashda inqilobiy o‘zgarishlar yaratmoqda. Mavjud tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki: SI asosidagi EKG modellari HFpEF ni aniqlashda yuqori diagnostik aniqligi (AUC=0.89, sezgirlik 0.89, o‘ziga xoslik 0.80) va hatto rasmiy tashxis qo‘yilishidan 4 yil oldin aniqlash qobiliyatiga ega. Chuqur o‘rganish asosidagi EchoKG tahlili multiview arxitekturalar yordamida diastolik disfunksiyani (AUC=0.84), chap/o‘ng qorincha anomaliyalarini (AUC=0.91) va miokard devor

qalinligi o‘zgarishlarini (89.3% aniqlik) yuqori darajada aniqlay oladi. AI yordamida fenotiplash HFpEF ni 4 ta takrorlanadigan fenoguruhga bo‘lish va an’anaviy klinik skorlardan ustun diagnostik aniqlikka erishish imkonini beradi. Klinik natijalarga ta’siri — SI asosidagi risk stratifikatsiyasi 5 yillik o‘limni 15% gacha kamaytirishi bilan bog‘liq. Biroq, SI ning keng qo‘llanilishi oldida ma’lumotlar maxfiyligi va modellarning turli populyatsiyalarda ishonchliligi kabi muhim to‘siqlar mavjud. Ushbu muammolarni hal qilish SI ni kardiologik amaliyotga to‘liq integratsiya qilish uchun zarur shartdir. “Kelajakda yurak yetishmovchiligi bo‘yicha ko‘proq ma’lumotlar to‘plash emas, balki erta va to‘g‘ri qarorlar qabul qilish muhim bo‘ladi.”

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Alyacoub R. Artificial intelligence in heart failure — a comprehensive literature review. *Cardiology Journal*. 2025;32(6):655-665. DOI: 10.5603/cj.104365.
2. Arora S, et al. Artificial Intelligence in the Management of Heart Failure. *Journal of Cardiac Failure*. 2025;31(10):1561-1573. DOI: 10.1016/j.cardfail.2025.01.005.
3. Chang PH, Liao FC, Wu YC, et al. Machine Learning Enhanced Acute Heart Failure Phenotype Prediction using Natural Language Processing and Random Forest. *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2025;8:1664627. DOI: 10.3389/frai.2025.1664627.
4. Hinds DA, et al. Translating Mechanistic Insights Into Action and Revealing New Pathways: Machine Learning Approaches in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction. *Journal of the American Heart Association*. 2026. DOI: 10.1161/JAHA.125.043617.
5. Tison G, et al. Multiview deep learning for detection of major cardiac conditions from echocardiography. *Nature Cardiovascular Research*. 2026. DOI: 10.1038/s44161-026-00786-7.
6. Redfield MM, Borlaug BA. Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: A Review. *JAMA*. 2023. DOI: 10.1001/jama.2023.2020.

7. Diagnostic Performance of Artificial Intelligence-Driven Electrocardiogram Algorithms in Detecting HFpEF: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Cardiovascular Sciences*. 2026;39:e20250091..
8. Duffy G, et al. External validation of artificial intelligence for detection of heart failure with preserved ejection fraction. *Nature Communications*. 2025;16:2915. DOI: 10.1038/s41467-025-58283-7.
9. Soe HT, Iwata H. Deep Learning-Based Echocardiography Wall Thickness Analysis for Heart Failure Detection. *IEEE Access*. 2026;14:36924-36932. DOI: 10.1109/ACCESS.2026.3670331.
10. Ballena-Caicedo JJ, Zuzunaga-Montoya FE, Valladolid-Sandoval LA, et al. Global heart failure incidence rate: an updated systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2026. DOI: 10.3389/fcvm.2026.1714070.
11. STRATIFYHF Study Group. Clinical validation of an artificial intelligence-based decision support system for diagnosis and risk stratification of heart failure (STRATIFYHF): a protocol for a prospective, multicentre longitudinal study. *BMJ Open*. 2025;15(1):e091793. DOI: 10.1136/bmjopen-2024-091793.
12. Bhatia A, et al. Impact of Artificial Intelligence on Cardiovascular Disease Diagnosis, Risk Assessment, and Treatment: A Meta-Analysis of 45 Studies. *Circulation*. 2025. Abstract 4371686..
13. Kather JN. Artificial Intelligence in Medicine (textbook). 2025..
14. Mann DL, ed. Heart Failure: A Companion to Braunwald‘s Heart Disease. 5th ed. Elsevier; 2024..
15. Zipes DP, Libby P, Bonow RO, Mann DL, Tomaselli GF, eds. Braunwald’s Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine. 12th ed. Elsevier; 2025.