

**KORONAR REVASKULYARIZATSIYADAN KEYIN SIMPATOADRENAL TIZIM
FAOLLIGINING DINAMIK O'ZGARISHLARINI SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA
PROGNOZLASH**

Xolmirzayev S.A., Xujamberdiyev M.A.¹, Uzbekova N.R.²

Impuls Tibbiyot Instituti

Patologiya va mikrobiologiya kafedrası o'qituvchisi

Andijon davlat tibbiyot instituti Fakultet terapiya

kafedrası mudiri, T.f.d., professor¹

Andijon davlat tibbiyot instituti Fakultet terapiya

kafedrası professori, T.f.d., dotsent²

E-mail: saidkamolkholmirzaev1@gmail.com

Tel: +998 90 279 46 36

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21132793>

Annotatsiya: Ushbu maqolada yurak ishemik kasalligi bo'lgan bemorlarda koronar revaskulyarizatsiyadan keyin simpatoadrenal tizim faolligining operatsiyadan oldin, 12 hafta va 24 haftadagi dinamik o'zgarishlarini baholash hamda sun'iy intellekt asosida prognozlash imkoniyatlari yoritilgan. Tadqiqot konsepsiyasi koronar revaskulyarizatsiya o'tkazilgan bemorlarda katexolaminlar, yurak ritmi variabelligi, malon dialdegid, elektrokardiografik va exokardiografik ko'rsatkichlarni kompleks tahlil qilishga asoslanadi. Maqolada klinik-laborator va instrumental ma'lumotlar asosida “rezidual simpatoadrenal xavf”ni aniqlashga qaratilgan sun'iy intellekt modeli taklif etiladi. Bunday yondashuv revaskulyarizatsiyadan keyingi davrda yuqori xavfli bemorlarni erta aniqlash, individual kuzatuv algoritmini yaratish va profilaktik choralarni takomillashtirishga xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar: koronar revaskulyarizatsiya, simpatoadrenal tizim, katexolaminlar, yurak ritmi variabelligi, malon dialdegid, oksidlovchi stress, sun'iy intellekt, prognostik model, individual monitoring.

Аннотация: В данной статье рассматриваются динамические изменения активности симпатoadренальной системы после коронарной реваскуляризации у пациентов с ишемической болезнью сердца до операции, через 12 и 24 недели, а также возможности их прогнозирования с использованием искусственного интеллекта. Концепция исследования основана на комплексном анализе катехоламинов, вариабельности сердечного ритма, малоновой диальдегида, электрокардиографических и эхокардиографических показателей у пациентов после коронарной реваскуляризации. В статье предложена модель искусственного интеллекта, направленная на выявление «остаточного симпатoadренального риска» на основе клинико-лабораторных и инструментальных данных. Такой подход может способствовать раннему выявлению пациентов высокого риска, разработке индивидуального алгоритма наблюдения и совершенствованию профилактических мероприятий после реваскуляризации.

Ключевые слова: коронарная реваскуляризация, симпатoadренальная система, катехоламины, вариабельность сердечного ритма, малоновый диальдегид, окислительный стресс, искусственный интеллект, прогностическая модель, индивидуальный мониторинг.

Abstract: This article discusses the dynamic changes in sympathoadrenal system activity after coronary revascularization in patients with ischemic heart disease before the procedure, at 12 weeks, and at 24 weeks, as well as the potential role of artificial intelligence-based prediction. The research concept is based on the comprehensive assessment of catecholamines, heart rate variability, malondialdehyde, electrocardiographic, and echocardiographic parameters in patients after coronary revascularization. The article proposes an artificial intelligence-based model aimed at identifying “residual sympathoadrenal risk” using clinical, laboratory, and instrumental data. This approach may contribute to early detection of high-risk patients, development of individualized follow-up algorithms, and improvement of preventive strategies after revascularization.

Keywords: coronary revascularization, sympathoadrenal system, catecholamines, heart rate variability, malondialdehyde, oxidative stress, artificial intelligence, predictive model, individualized monitoring.

Kirish. Yurak ishemik kasalligi zamonaviy kardiologiyaning eng dolzarb muammolaridan biri bo’lib, uning patogeneza koronar ateroskleroz, miokard perfuziyasining pasayishi, endotelial disfunktsiya, mikrovaskulyar buzilishlar va neyrohumoral faollashuv muhim rol o’ynaydi. 2024-yilgi ESC surunkali koronar sindromlar bo’yicha tavsiyalarida YIK faqat epikardial koronar arteriyalardagi stenoz bilan emas, balki mikrovaskulyar disfunktsiya, endotelial disfunktsiya, vazokonstriksiya va autonom disregulyatsiya bilan bog’liq kompleks klinik holat sifatida qaraladi [1].

Koronar revaskulyarizatsiya stentlash yoki aortokoronar shuntlash miokard perfuziyasini yaxshilash, anginoz simptomlarni kamaytirish va ayrim yuqori xavfli bemorlarda klinik prognozni yaxshilashga qaratilgan muhim davolash usulidir [1,2]. Biroq revaskulyarizatsiyadan keyingi natijalar faqat koronar qon oqimining mexanik tiklanishi bilan belgilanmaydi. Operatsiyadan keyingi davrda simpatoadrenal tizim faolligi, yurak ritmi variabelligi, oksidlovchi stress, malondialdegid darajasi, chap qorincha funktsiyasi va aritmogenlik xavfi bemorning uzoq muddatli prognoziga ta’sir qilishi mumkin [3,4].

Miokard ishemiyasi organizm tomonidan stress holati sifatida qabul qilinadi. Bunga javoban simpatik nerv tizimi va buyrak usti bezining medullar qismi faollashadi, adrenal, noradrenalin va dofamin sekretsiyasi ortadi. Dastlab bu javob yurak qon haydash hajmini va arterial bosimni saqlashga xizmat qiladi. Ammo uzoq davom etuvchi simpatoadrenal giperfaollik miokard kislorodga ehtiyojini oshiradi, taxikardiya, oksidlovchi stress, lipid peroksidlanishi, aritmogenlik va miokard remodelingini kuchaytiradi [4,5].

So’nggi yillarda sun’iy intellekt va mashinaviy o’rganish algoritmlari kardiologiyada klinik xavfni prognozlash, invaziv muolajalardan keyingi natijalarni baholash va murakkab biomarkerlar o’rtasidagi yashirin bog’liqliklarni aniqlashda keng qo’llanmoqda. PKI dan keyingi og’ir kardiovaskular asorat holatlari va CABGdan keyingi atrial fibrillyatsiyani prognozlash bo’yicha mashinaviy o’rganish modellari ishlab chiqilmoqda [7,8]. Shu sababli koronar revaskulyarizatsiyadan keyin simpatoadrenal tizim faolligining 12 va 24 haftadagi dinamikasini AI (sun’iy intellekt) yordamida prognozlash fanlararo innovatsion yondashuv sifatida ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Revaskulyarizatsiyadan oldingi davrda bemor organizmida miokard ishemiyasi, og’riq, arterial bosim o’zgarishi, yurak yetishmovchiligi belgilari yoki psixosotsial stress sababli simpatoadrenal tizim faollashgan bo’lishi mumkin. Bu davrda adrenal, noradrenalin va dofamin darajasining oshishi yurak urish tezligi, miokard qisqaruvchanligi, arterial bosim va kislorodga ehtiyojni kuchaytiradi. Koronar arteriyalarda stenoz yoki

mikrovaskulyar disfunktsiya mavjud bo’lsa, ortgan metabolik ehtiyoj yetarli perfuziya bilan qoplanmaydi va ishemiya yanada chuqurlashadi [1,4].

Operatsiyadan oldingi bosqichda simpatoadrenal tizim faolligini baholash bemorning boshlang’ich neyrogumoral xavf profilini aniqlash imkonini beradi. Bu bosqichda katexolaminlar, yurak urish tezligi, arterial bosim, EKGdagi ST-T o’zgarishlari, aritmiyalar, ExoKGda chap qorincha chiqarish fraksiyasi, diastolik funktsiya va malon dialdegid darajasi birgalikda baholanishi lozim. MDA lipid peroksidlanishining muhim mahsuloti bo’lib, oksidlovchi stress va membrana shikastlanishini aks ettiradi. YIKda MDA darajasining ortishi kasallik og’irligi va oksidlovchi shikastlanish bilan bog’liq bo’lishi mumkin [5,6]. 12 haftalik davr revaskulyarizatsiyadan keyingi erta tiklanish bosqichi sifatida baholanishi mumkin. Bu muddatda miokard perfuziyasi yaxshilanishi, anginoz simptomlar kamayishi, jismoniy faollik tiklanishi va yurakning kislorodga ehtiyoji bilan ta’minoti o’rtasidagi nomutanosiblik kamayishi kutiladi. Shunga mos ravishda simpatoadrenal tizim faolligi pasayishi, yurak ritmi variabelligi ko’rsatkichlari yaxshilanishi va oksidlovchi stress markerlari kamayishi mumkin [3,4]. Biroq ayrim bemorlarda 12 haftadan keyin ham noradrenalin yoki adrenalin yuqori saqlanishi, SDNN (normal sinus urishlari orasidagi intervallarning standart og’ishi) va RMSSD (ketma-ket N-normal intervallar orasidagi farqlarning kvadratik o’rtacha ildizi) past bo’lishi, LF/HF (past chastotali yurak ritmi komponenti / yuqori chastotali yurak ritmi komponenti) disbalansi saqlanishi hamda MDA darajasi yetarli kamaymasligi mumkin. Bu holat revaskulyarizatsiyadan keyingi “rezidual simpatoadrenal xavf”ni ko’rsatadi. Bunday bemorlarda koronar oqim mexanik jihatdan tiklangan bo’lsa ham, vegetativ regulyatsiya, mikrosirkulyatsiya va oksidlovchi stress to’liq normallashtirmagan bo’lishi mumkin.

24 haftalik davr esa neyrogumoral moslashuvning nisbatan barqaror bosqichini aks ettiradi. Agar ushbu muddatda ham katexolaminlar yuqori, YRV past, MDA yuqori, EKGda aritmiyalar mavjud yoki ExoKGda chap qorincha funktsiyasi yetarli tiklanmagan bo’lsa, bemor uzoq muddatli noxush yurak-qon tomir hodisalari xavfi yuqori guruhga kirishi mumkin. Shu sababli operatsiyadan oldingi, 12 haftalik va 24 haftalik ko’rsatkichlarni ketma-ket tahlil qilish bir martalik tekshiruvga nisbatan ko’proq prognostik ma’lumot beradi.

Simpatoadrenal tizim faolligini baholashda katexolaminlar bilan birga YRV ko’rsatkichlari muhim ahamiyatga ega. SDNN yurak ritmi umumiy variabelligini, RMSSD parasimpatik faollikni, LF/HF esa simpatik-parasimpatik muvozanatni baholashda qo’llanadi. CABGdan keyin YRV indeksleri vaqtincha pasayishi, keyinchalik esa bir necha oy davomida tiklanishi mumkinligi haqida ma’lumotlar mavjud [3]. Shu sababli YRVni 12 va 24 haftada baholash revaskulyarizatsiyadan keyingi vegetativ tiklanish darajasini aniqlashda foydali bo’lishi mumkin.

Malon dialdegid esa simpatoadrenal faollik bilan oksidlovchi stress o’rtasidagi bog’lovchi laborator marker sifatida qaraladi. Katexolaminlarning ortiqcha sekretsiyasi mitoxondrial ROS hosil bo’lishi, monoaminooksidaza faolligi va lipid peroksidlanishini kuchaytiradi. Natijada MDA darajasi ortadi. MDA hujayra membranalari, PZLP zarralari va endotelial strukturalarni modifikatsiyalab, endotelial disfunktsiya va aterosklerotik pilakcha beqarorligiga hissa qo’shishi mumkin [5,6]. Shuning uchun MDA ni katexolaminlar va YRV bilan birga baholash revaskulyarizatsiyadan keyingi biologik tiklanishni chuqurroq tushunishga yordam beradi.

Ushbu maqolada taklif etilayotgan sun’iy intellekt modeli uch vaqt nuqtasidagi ma’lumotlarni birlashtirishga asoslanadi: operatsiyadan oldin, 12 hafta va 24 hafta. Modelga yosh, jins, arterial gipertenziya, qandli diabet, chekish, dislipidemiya, tana vazni indeksi, revaskulyarizatsiya turi, adrenalin, noradrenalin, dofamin, MDA, SDNN, RMSSD, LF/HF, yurak urish tezligi, arterial bosim, EKGdagi aritmiyalar, ST-T o’zgarishlari, chap qorincha chiqarish fraksiyasi, diastolik funksiya va qabul qilinayotgan dori vositalari kiritilishi mumkin.

Modelning asosiy vazifasi 12 va 24 haftada simpatoadrenal tizim giperfaolligi saqlanib qoladigan bemorlarni oldindan aniqlashdan iborat. Buning uchun “rezidual simpatoadrenal xavf indeksi” taklif etilishi mumkin. Ushbu indeks katexolaminlar, YRV, MDA, EKG va ExoKG ko’rsatkichlarini birlashtirib, bemorlarni past, o’rta va yuqori xavf guruhlariga ajratadi. Mashinaviy o’rganish algoritmlari sifatida logistic regression, random forest, gradient boosting, XGBoost yoki CatBoost modellaridan foydalanish mumkin [7,8].

AI modelining afzalligi shundaki, u alohida ko’rsatkichlarni emas, balki ularning murakkab kombinatsiyasini baholaydi. Masalan, faqat noradrenalin darajasining yuqori bo’lishi har doim ham yuqori xavfni anglatmasligi mumkin. Ammo noradrenalin yuqoriligi SDNN pasayishi, MDA ortishi va chap qorincha funksiyasining yomonlashuvi bilan birga kechsa, bu bemorda klinik xavf ancha yuqori bo’lishi mumkin. Bunday chiziqli bo’lmagan bog’liqliklarni aniqlashda sun’iy intellekt usullari oddiy statistik yondashuvlarga nisbatan kengroq imkoniyat beradi.

Model natijalarini klinik jihatdan tushunarli qilish uchun SHAP tahlili kabi izohlanuvchi AI usullaridan foydalanish maqsadga muvofiq. SHAP tahlili har bir bemorda xavfni qaysi omillar oshirayotganini ko’rsatadi: masalan, noradrenalin yuqoriligi, RMSSD pasayishi, MDA ortishi yoki LVEF kamayishi. Bunday yondashuv shifokorga model qarorini tushunish, bemor bilan muhokama qilish va individual davolash rejasini shakllantirish imkonini beradi. AI asosidagi prognozlash modellarini ishlab chiqish va bayon qilishda TRIPOD+AI kabi xalqaro hisobot standartlariga rioya qilish zarur [9].

Mazkur yondashuv konferensiyaning “Tibbiyot, farmatsevtika, veterinariya, san’at va arxitekturada fanlararo innovatsion yondashuvlar” yo’nalishiga mos keladi. Chunki bu maqolada kardiologiya, laborator diagnostika, elektrofiziologiya, exokardiografiya va sun’iy intellekt texnologiyalari yagona ilmiy konsepsiyada birlashtiriladi. Bu oddiy klinik kuzatuv emas, balki bemorning biologik, neyrohumoral va instrumental ko’rsatkichlari asosida shaxsiy prognoz yaratishga qaratilgan raqamli tibbiyot yondashuvidir.

Xulosa. Koronar revaskulyarizatsiyadan keyin simpatoadrenal tizim faolligining dinamik o’zgarishlarini baholash yurak ishemik kasalligi bo’lgan bemorlarning uzoq muddatli prognozini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Operatsiyadan oldin, 12 hafta va 24 hafta muddatlarda katexolaminlar, YRV, MDA, EKG va ExoKG ko’rsatkichlarini kompleks tahlil qilish revaskulyarizatsiyadan keyingi rezidual simpatoadrenal xavfni aniqlash imkonini beradi.

Sun’iy intellekt asosidagi prognostik model ushbu ko’p o’lchamli ma’lumotlarni yagona tizimga birlashtirib, yuqori xavfli bemorlarni erta aniqlash, individual monitoring strategiyasini shakllantirish va profilaktik choralarni takomillashtirishga xizmat qilishi mumkin. Biroq bunday modelni klinik amaliyotga joriy etish uchun yetarli hajmdagi ma’lumotlar bazasi, ichki va tashqi validatsiya, diskriminatsiya, kalibratsiya hamda klinik foydalilik ko’rsatkichlarini baholash talab etiladi. Shunday qilib, koronar

revaskulyarizatsiyadan keyingi simpatoadrenal tizim dinamikasini AI asosida prognozlash tibbiyotda fanlararo innovatsion yondashuvlarning istiqbolli yo’nalishlaridan biridir.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Vrints C., Andreotti F., Koskinas K.C., Rossello X., et al. 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *European Heart Journal*. 2024;45:3415–3537. doi:10.1093/eurheartj/ehae177.
2. Neumann F.J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *European Heart Journal*. 2019;40:87–165. doi:10.1093/eurheartj/ehy394.
3. Matusik P.S., et al. Heart Rate Variability and Coronary Artery Bypass Grafting. *Journal of Clinical Medicine*. 2024.
4. Badrov M.B., et al. Effects of 6 Months of Exercise-Based Cardiac Rehabilitation on Autonomic Function and Neuro-Cardiovascular Stress Reactivity in Coronary Artery Disease Patients. *Journal of the American Heart Association*. 2019.
5. Simantiris S., Papastamos C., Antonopoulos A.S., et al. Oxidative Stress Biomarkers in Coronary Artery Disease. *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2023;23(22):2158–2171. doi:10.2174/1568026623666230502140614.
6. Hadi N., et al. Estimation of Serum Malondialdehyde as a Marker of Oxidative Stress and Predictive Biomarker for Severity of Coronary Artery Disease and Cardiovascular Outcomes. *Cureus*. 2024.
7. Jolfayi A.G., et al. Applied Machine Learning to Predict 1-Year Major Adverse Cardiovascular Events After Percutaneous Coronary Intervention. 2025.
8. Eini P., et al. Machine Learning and Regression-Based Models for Predicting Postoperative Atrial Fibrillation After Coronary Artery Bypass Grafting. 2026.
9. Collins G.S., Moons K.G.M., Dhiman P., Riley R.D., Beam A.L., et al. TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. *BMJ*. 2024;385. doi:10.1136/bmj-2023-078378.
10. Kong A.S.Y., et al. Oxidative Stress Parameters as Biomarkers of Cardiovascular Disease: Toward a Standardized Approach. *Antioxidants*. 2022;11(6):1175. doi:10.3390/antiox11061175.