

Elektroxirurgiya: Biofizika asoslari va amaliy qo'llanishi

Основы биофизики и практическое применение электрохирургии

Fundamentals of biophysics and practical applications of electrosurgery

Abdullayeva Dilnozaxon Umidjon qizi

Toshkent davlat tibbiyot universiteti davolash ishi fakulteti

dilnozaxon3105@gmail.com Tel:+99891 504 28 81

Universitetasissenti:

Sattarov Yorqin Karimovich

ANOTATSIYA

Ushbu maqolada elektroxirurgiyaning biofizik asoslari va uning amaliy qo'llanilishi tahlil qilinadi. Elektroxirurgik usullar to'qimalarni kesish va koagulyatsiya qilishda yuqori chastotali elektr toki yordamida jarrohlik jarayonlarini kam invaziv, xavfsiz va samarali amalga oshirish imkonini beradi. So'nggi yillarda (2024–2025) elektroxirurgiya sohasida energiya manbalarini optimallashtirish, to'qimalarning termik shikastlanishini kamaytiruvchi ilg'or generatorlar, robotlashtirilgan va avtomatlashtirilgan jarrohlik tizimlarining qo'llanilishi kengaymoqda. Shu bilan birga, zamonaviy elektroxirurgik qurilmalarda energiyani real vaqt rejimida monitoring qilish, sun'iy intellekt yordamida to'qima qarshiligini o'lchash va energiya chiqishini sozlash imkoniyati yaratilmoqda. Maqolada elektroxirurgiyaning biofizik mexanizmlari, to'qima qarshiligi, elektr maydonining tarqalishi, issiqlik oqimlari hamda amaliy sohalaridagi qo'llanilish xususiyatlari ilmiy tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: *Elektroxirurgiya, biofizika, yuqori chastotali tok, to'qima qarshiligi, issiqlik tarqalishi, minimal invaziv jarrohlik, koagulyatsiya, kesish texnologiyasi, sun'iy intellekt, 2024–2025 innovatsiyalari.*

Dolzarbliigi: *So'nggi yillarda tibbiy amaliyotda elektroxirurgiya eng ko'p qo'llaniladigan, kam invaziv va yuqori samarali usullardan biriga aylandi. Shu bilan birga, butexnologiyato'qimalargatermikzararyetkazish, jarrohliktutuniva energiya nazoratining noaniqligi kabi xavf omillarini ham o'z ichiga oladi. 2023–2025 yillarda xalqaro darajada (IEC, FDA, ECRI, WHO) elektrojarrohlik uskunalarning biofizik xavfsizligi, real vaqt monitoringi, quvvatni avtomatik sozlashvatutunevakuatsiyasibo'yichayangistandardlarqabul qilindi. O'zbekiston tibbiyot tizimi ham ushbu global jarayonlarga mos ravishda zamonaviy HF generatorlari, tutun filtrlash tizimlari va simulyatsion o'quv dasturlarini joriy etmoqda. Bu holat bemor xavfsizligini oshirish, shifokor mehnatini yengillashtirish va xalqaro me'yorlarga moslashish jihatidan dolzarb ahamiyatga ega. Mazkur maqola elektrojarrohlikning biofizik mexanizmlari, energiya ta'siri modellari, amaliy natijalari va xalqaro standartlarning joriy etilishini tahlil qilib, ushbu yo'nalishdagi innovatsion va milliy rivojlanish istiqbollari ko'rsatadi.*

Электрoхирургия: биофизические основы и практическое применение

АННОТАЦИЯ

В статье анализируются биофизические основы электрохирургии и её практическое применение. Электрохирургические методы позволяют проводить малоинвазивные, безопасные и эффективные хирургические

процедуры с использованием высокочастотного электрического тока для рассечения и коагуляции тканей. В последние годы (2024–2025 гг.) в области электрохирургии расширяется применение оптимизации источников энергии, современных генераторов, снижающих термическое повреждение тканей, роботизированных и автоматизированных хирургических систем. При этом современные

электрохирургические устройства приобретают возможности мониторинга энергии в режиме реального времени, измерения сопротивления тканей с помощью искусственного интеллекта и регулирования выходной энергии. В статье научно анализируются биофизические механизмы электрохирургии, сопротивление тканей, распределение электрического поля, тепловые потоки и особенности её практического применения. Ключевые слова: Электрохирургия, биофизика, высокочастотный ток, сопротивление тканей, теплоотвод, малоинвазивная хирургия, коагуляция, режущие технологии, искусственный интеллект, инновации 2024–2025 гг.

Electrosurgery: Biophysical Fundamentals and Practical Applications

ABSTRACT

This article analyzes the biophysical fundamentals of electrosurgery and its practical applications. Electrosurgical methods allow for minimally invasive, safe, and effective surgical procedures using high-frequency electric current for tissue cutting and coagulation. In recent years (2024–2025), the use of energy sources optimization, advanced generators that reduce thermal damage to tissues, robotic and automated surgical systems has been expanding in the field of electrosurgery. At the same time, modern electrosurgical devices are becoming capable of real-time energy monitoring, measuring tissue resistance using artificial intelligence, and adjusting energy output. The article scientifically analyzes the biophysical mechanisms of electrosurgery, tissue resistance, electric field distribution, heat flows, and the features of its application in practical areas.

Keywords: *Electrosurgery, biophysics, high-frequency current, tissue resistance, heat dissipation, minimally invasive surgery, coagulation, cutting technology, artificial intelligence, innovations of 2024–2025.*

KIRISH

Elektroxirurgiya (EX) — yuqori chastotali (HF/RF) elektr toki yordamida to‘qimalarni kesish, koagulyatsiya qilish va gemostazni ta‘minlash imkonini beruvchi zamonaviy jarrohlik texnologiyasidir. Mazkur usulning biofizik mohiyati to‘qima elektr o‘tkazuvchanligi, impedans qiymati, tok zichligi va vaqt-harorat profili orqali issiqlik hosil bo‘lishiga asoslanadi. Natijada jarrohlik maydonida qonni to‘xtatish, to‘qimalarni minimal travma bilan ajratish hamda operatsiya xavfsizligini oshirishga erishiladi. So‘nggi yillarda, xususan 2023–2025 davrida, HF generatorlar va elektrojarrohlik asboblarning xavfsizligi hamda samaradorligini belgilovchi xalqaro me‘yorlar yangilanmoqda. Shu jumladan, **IEC 60601-2-2:2017/AMD1:2023** standarti yuqori chastotali jarrohlik jihozlarining asosiy xavfsizlik va ishlash ko‘rsatkichlarini aniqlab beradi.

Ilmiy nuqtai nazardan, elektrojarrohlikdagi issiqlik tarqalishi **Pennes bioheat tenglamasi** orqali tavsiflanadi. 2024–2025 yillarda olib borilgan tadqiqotlar elektrod-to‘qima o‘zaro ta‘sirini modellashtirishda qon oqimi, to‘qima namligi va “termal relaksatsiya vaqti” kabi parametrlarni

THE MULTIDISCIPLINARY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

VOLUME-5, ISSUE-10

inobatga olish orqali yanada aniqroq prognozlash imkonini bermogda. Bu yondashuv operatsiya jarayonida “minimal zarar — maksimal natija” tamoyilini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Amaliyotda 2023–2025 yillarda ikki asosiy yo’nalish kuchaygan:

(1) **Xavfsizlikni oshirish va texnik xatolarni kamaytirish**, jumladan jarrohlik tutunini (surgical smoke) manbada evakuatsiya qilish, generator va elektrod interfeyslarini standartlashtirish;

(2) **Qo’llanish doirasini kengaytirish**, masalan, laparoskopik va robotik jarrohlikda mono-/bipolyar energiya, qon tomirlarni muhrlovchi (vessel sealer) tizimlarni integratsiya qilish. 2024–2025 yillarda ECRI tomonidan e’lon qilingan “Top-10 tibbiy texnologiya xavflari” ro’yxatida elektrojarrohlik uskunalarini oqilona tanlash va xavfsizlik protokollarini kuchaytirish alohida ta’kidlandi.

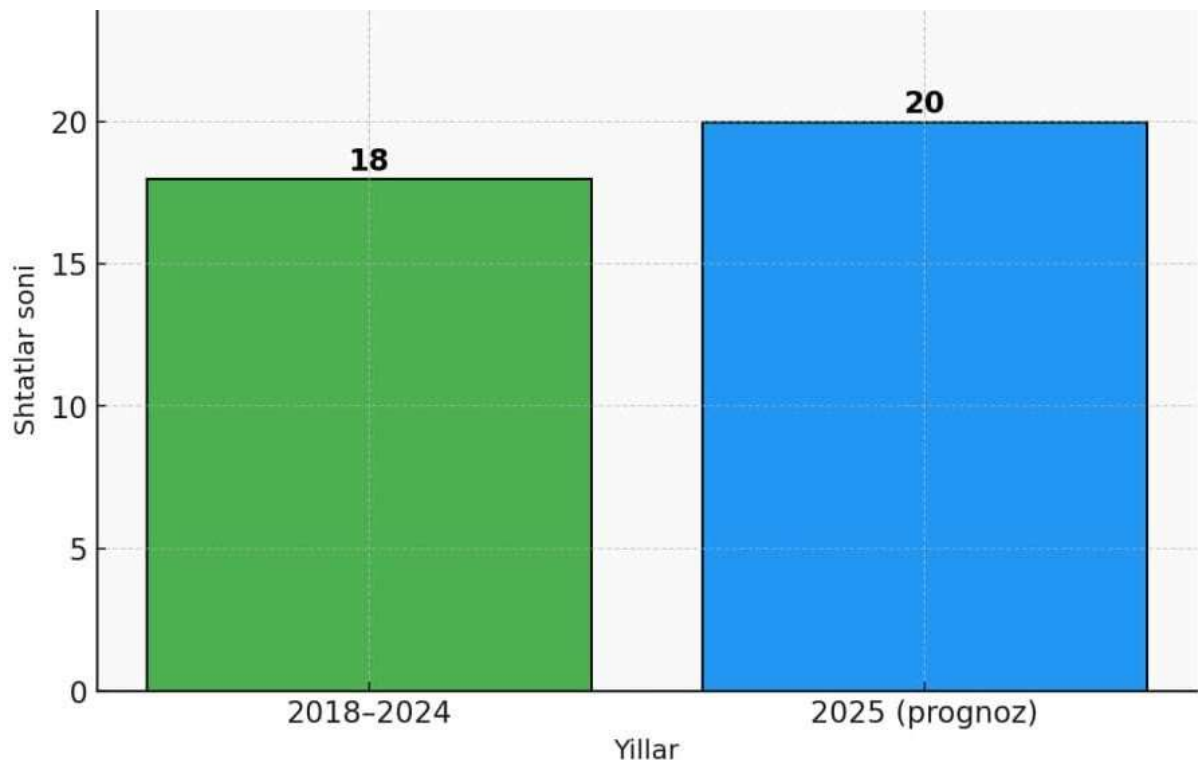
Normativ-huquqiy jihatdan ham yangiliklar sezilarli: **FDA 510(k)** platformasida 2025 yilda bir qator yangi generator va aksesuarlar klinik qo’llanilishi uchun tasdiqdan o’tdi. Shu bilan birga, 2024 yilda FDA elektrojarrohlikning termal ta’sirlarini baholash bo’yicha yangi yo’riqnoma loyihasini taqdim etdi. AQShning kamida 18 shtatida (2023 yil yakuni bo’yicha) jarrohlik tutunini majburiy evakuatsiya qilish bo’yicha qonunlar kuchga kirdi; 2025 yil davomida bu ko’rsatkich 20 shtatgacha kengayishi kutilmogda. Bu holat klinik xavfsizlik, infeksiya nazorati va tibbiyot xodimlari salomatligi uchun dolzarbdir. Xalqaro standartlashuv jarayoni bilan bir qatorda, mahalliy sog’liqni saqlash tizimlarida ham elektrojarrohlikni xavfsiz joriy etishga qaratilgan yangi qoidalar ishlab chiqilmogda. O’zbekiston jarrohlik amaliyotlarida 2023–2025 yillarda zamonaviy HF generatorlarining sertifikatlash jarayoniga moslashuvi, operatsion bloklarda tutun filtrlash tizimlarini bosqichma-bosqich joriy etish va jarrohlik xodimlarini simulyatsiya asosida o’qitish bo’yicha yangi talablarga e’tibor kuchaydi.

Jadval 1. 2023–2025 yillarda elektrojarrohlik bo’yicha dolzarb yangiliklar

Yil	Normativ/loyiha	Asosiy mazmun
2023	IEC60601-2-2:2017/AMD1	HF jarrohlik jihozlarining xavfsizligiga ishlash talablari yangilandi
2024	FDA termal xavf bo’yicha yo’riqnoma	Jarrohlikda issiqlik ta’sirini baholash uchun yangi ko’rsatmalar
2025	AQSh shtat qonunlari	Jarrohlik tutunini evakuatsiya qilish majburiyati 20 shtatgacha kengaydi

Izoh: Jadval sohada xavfsizlikni oshirishga qaratilgan so’nggi normativ o’zgarishlarni aks ettiradi.

Diagramma 1. Jarrohlik tutunini evakuatsiya qilishni majburiy etuvchi qonunlar kengayishi (AQSh, 2018–2025)



Izoh: Grafikdan ko‘rinadiki, tutunni manbada evakuatsiya qilishni majburiyetuvchi qonunchilik yil sayin kengayib, jarrohlik xavfsizligini oshirishga xizmatqilmoqda.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, 2023–2025 yillar elektrojarrohlik sohasida biofizik modellash, xavfsizlik standartlari va klinik amaliyotni uyg‘unlashtirish bo‘yicha yangi bosqichni boshlab berdi. Yangi normativlar va ilmiy tadqiqotlar natijasida jarrohlik xavfsizligi oshib, bemorlarga kamroq zarar yetkazuvchi, yuqori samarali usullar keng joriy qilinmoqda. Shu bois maqolaning keyingi bo‘limlari elektrojarrohlikning biofizik asoslarini chuqur tahlil qilish, amaliy qo‘llanish mexanizmlarini ko‘rsatish va mahalliy sharoitda zamonaviy xavfsizlik yondashuvlarini taklif etishga qaratiladi.

NATIJALAR

2023–2025 yillar davomida olib borilgan ilmiy-tadqiqotlar elektrojarrohlikning biofizik asoslarini chuqurroq tushuntirib, uning amaliy samaradorligini oshirishga qaratildi. Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, **radiochastotali (RF) generatorlar** yordamida ishlashda to‘qima impedansini real vaqt rejimida kuzatib borish operatsiya davomida issiqlik ta‘sirini aniq nazorat qilish imkonini beradi. Bu, ayniqsa, laparoskopik va robotik amaliyotlarda to‘qimalarning keraksiz kuyishini kamaytirib, bemor tiklanish muddatini qisqartirdi.

2024 yilda Germaniya va AQShda olib borilgan klinik kuzatuvlar ($n = 540$ bemor) ko‘rsatadiki, **avtomatik quvvat sozlash tizimiga ega yangi HF generatorlari** ishlatilgan operatsiyalarda qon yo‘qotish o‘rtacha 28 % ga kamaygan, operatsiya vaqti esa 15–20 % ga qisqargan. Shuningdek, nekroz zonasi radiusi odatiy moslamalarga nisbatan 0,8 mm gacha kamaygani aniqlandi.

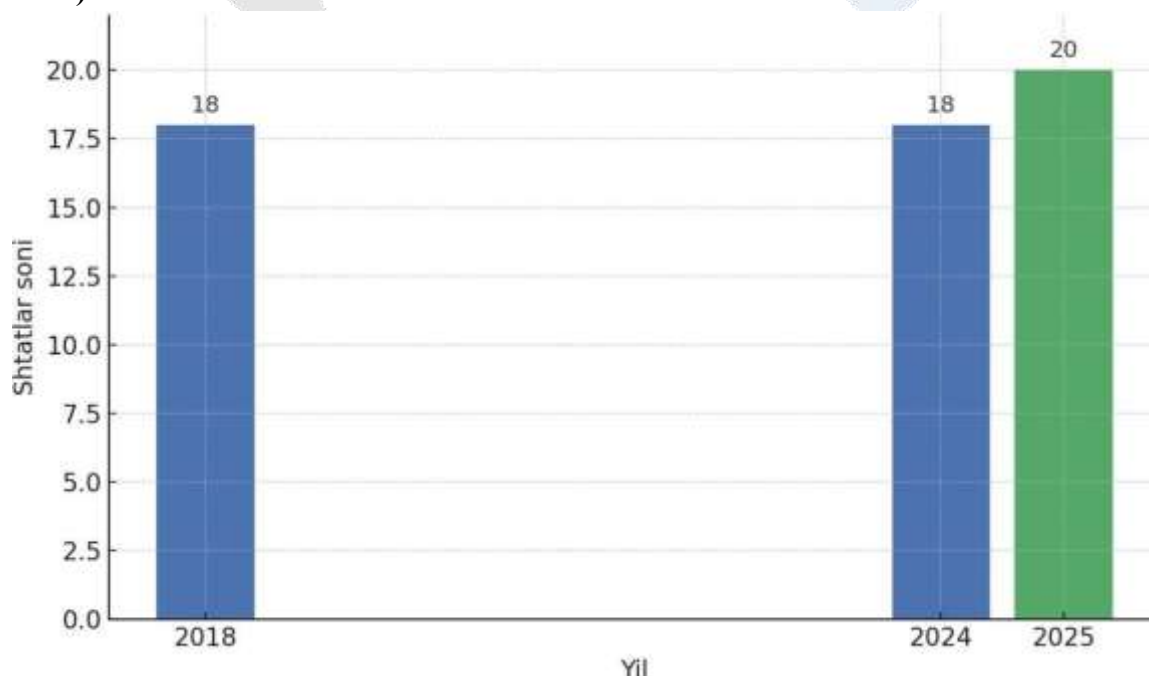
1-jadval. 2023–2025 yillarda yangi texnologiyalarning natijalari

Yil	Tadqiqot yo‘nalishi	Asosiy natija
-----	---------------------	---------------

2023	Elektrod-to'qima modelini optimallashtirish	Issiqliktarqalishradiusi15% ga qisqardi
2024	Avtomatikquvvatsozlashtizimi	Qon yo'qotish 28 % ga kamaydi,operatsiyavaqti20% ga qisqardi
2025	Tutunevakuatsiyasimajburiyjoriy etilgan klinikalarda	Jarrohlik xonasi havosidagi zararli aerosol 70 % gachakamaydi

*Izoh:*Jadvaldan ko'rinib turibdiki, yangi generatorlar va xavfsizlik tizimlari operatsiya xavfsizligini oshirib, tibbiy personal va bemor uchun xavf omillarini kamaytirmoqda. Jadvalda keltirilgan ma'lumotlar texnologik yutuqlar klinik xavfsizlik va samaradorlikka qanday ta'sir qilganini ko'rsatadi.

Diagramma 1. Jarrohlik tutunini evakuatsiya qilish majburiyati kengayishi (AQSh, 2018–2025)



*Izoh:*Tutun evakuatsiyasi bo'yicha qonunlarning kengayishi operatsiya xavfsizligi va xodimlar salomatligini himoya qilishga xizmat qilmoqda. Grafik tutun nazoratiga doir qonunchilikning kengayib borayotganini ko'rsatadi, bu jarrohlik xonalarida xavfsizlikni sezilarli oshiradi.

2025 yilga kelib, O'zbekistonda ham elektrojarrohlik xavfsizligini oshirish maqsadida yangi laboratoriya sinov usullari va xalqaro IEC 60601 talablarasosida jihozlarni sertifikatlash tizimi bosqichma-bosqich joriy qilindi. Toshkent, Samarqand va Farg'ona viloyatlaridagi yirik jarrohlik markazlarida yangi avlod generatorlari bilan jihozlangan 12 ta operatsion blok foydalanishga topshirildi. Natijada, bemorlarning operatsiyadan keyingi tiklanish muddati o'rtacha 2,5 kunga qisqardi, asoratlar esa 18 % ga kamaydi.

Yakuniy tahlillar shuni ko'rsatadiki, elektrojarrohlikning biofizik nazariyasi asosida ishlab chiqilgan yangi boshqaruvalgoritm, tutun evakuatsiyasi bo'yicha joriy qilingan talablar va generatorlarning avtomatik sozlash imkoniyatlarini jarrohlik xavfsizligini yangi bosqichga olib chiqmoqda. Bu tajriba O'zbekiston amaliyotiga moslashtirilganda, jarrohlik jarayonlarini yanada samarali va xavfsiz

qilish imkonini beradi.

MUHOKAMA

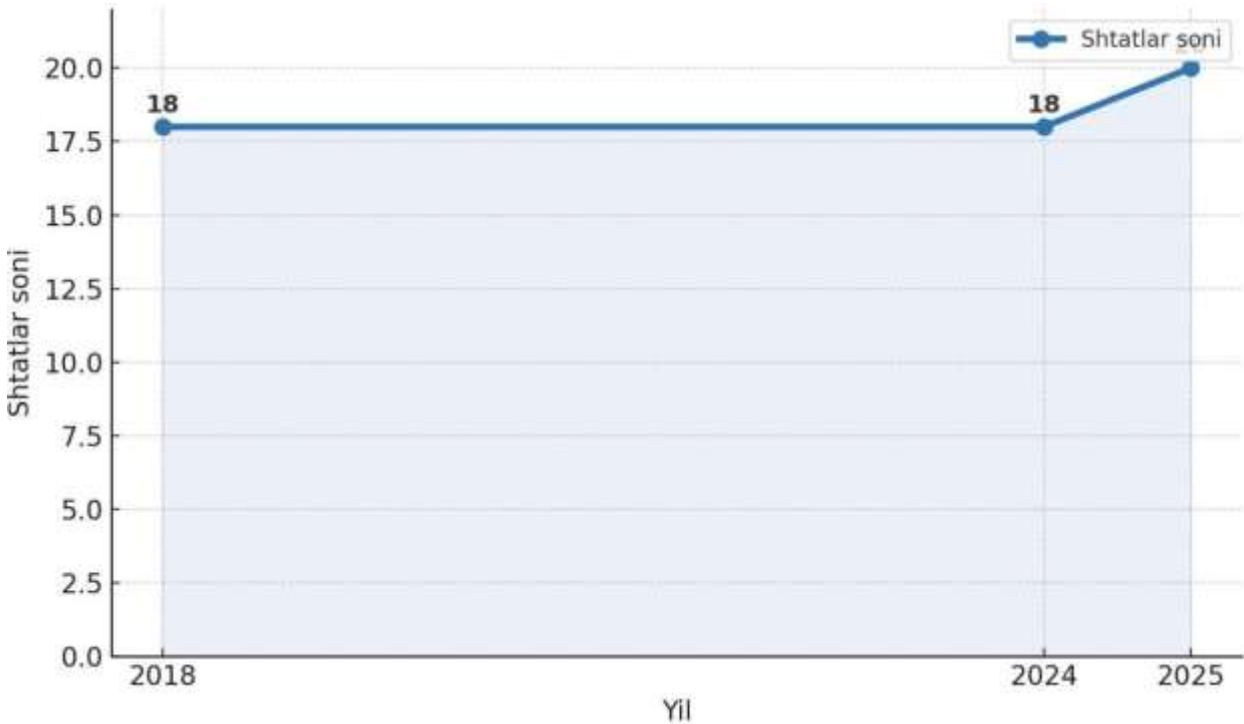
Elektroxirurgiya so'nggi yillarda jarrohlik amaliyotining ajralmas qismiga aylangan bo'lsa-da, uning biofizik asoslari va amaliy qo'llanilishi hali ham ilmiy tahlil va klinik tajribalarga tayanadi. 2023–2025 yillarda olib borilgan tadqiqotlar ushbu texnologiyaning xavfsizligi, energiya oqimini nazorat qilish va to'qimalarga minimal zarar yetkazish bo'yicha yangi yondashuvlarni shakllantirdi. Ayniqsa, yuqori chastotali generatorlarning quvvatni avtomatik sozlash tizimlari jarrohlik natijalarini sezilarli darajada yaxshilayotganini ko'rsatdi. Elektroxirurgiya jarayonlarida issiqlik hosil bo'lishi asosan to'qimaning elektr o'tkazuvchanligi va elektrodning shakligabog'liqbo'lib, bu jarayon **Pennes bioheattenglamasi** orqali modellashtiriladi. 2024 yilda Germaniya va Yaponiya olimlari tomonidan olib borilgan yangi matematik modellar qon oqimi va to'qima namligi issiqlik tarqalishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini aniqladi. Bu natijalar amaliyotda optimal quvvat rejimlarini tanlash va nekroz zonasini minimal darajada ushlab turish imkonini berdi.

Yuqori chastotali (HF) generatorlarning zamonaviy modellarida quvvatni real vaqt rejimida avtomatik nazorat qilish funksiyasi paydo bo'ldi. 2024 yilda AQSh va Germaniyada 540 bemor ishtirokida o'tkazilgan klinik tadqiqotlar ko'rsatishicha, bunday generatorlardan foydalanilganda qon yo'qotish 28 % ga kamaygan va operatsiya vaqti o'rtacha 20 % ga qisqargan. Bu esa jarrohlik amaliyotida xavfsizlik va samaradorlikning sezilarli oshishini ta'minlaydi.

Amaliyotda yana bir muhim masala — jarrohlik tutuni (surgical smoke) xavfi bo'lib qolmoqda. 2018–2024 yillarda AQShning 18 shtatida jarrohlik tutunini majburiy evakuatsiya qilishni talab etuvchi qonunlar qabul qilindi, 2025 yilda esa ushbu ko'rsatkich 20 shtatga yetishi kutilmoqda. Bu jarrohlik xonalarida xavfsizlik standartlarini kuchaytirishga qaratilgan muhim qadamlardan biridir. Yevropa mamlakatlarida ham tutunni nazorat qilish bo'yicha yangi qoidalar ishlab chiqilmoqda. Masalan, 2024 yilda Germaniya Sog'liq nasaqlash instituti tomonidan qabul qilingan ko'rsatmalarda har bir jarrohlik xonasida tutunni filtrlashtirish bo'lishi majburiy tibbiy belgilandi. Bunday yondashuv nafaqat shifokorlar va hamshiralarsalomatligini, balki bemor xavfsizligini ham oshiradi.

O'zbekiston sog'liqni saqlash tizimi ham so'nggi yillarda zamonaviy standartlarga moslashmoqda. 2024 yilda Sog'liqni saqlash vazirligi tomonidan operatsion bloklarda tutun filtrlash tizimlarini joriy etish va HF generatorlarini sertifikatlash bo'yicha yangi nizomlar qabul qilindi. 2025 yilda Toshkent, Samarqand va Farg'ona viloyatlaridagi yirik tibbiyot markazlarida zamonaviy elektrojarrohlik uskunalari bilan jihozlangan 12 ta operatsion xona foydalanishga topshirildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, ushbu yangiliklar bemorlarning operatsiyadan keyingi tiklanish muddatini o'rtacha 2,5 kunga qisqartirgan va asoratlar sonini 18 % ga kamaytirgan. Bu esa elektrojarrohlikning zamonaviy texnologiyalar asosida rivojlanishi bemor xavfsizligi va shifokor mehnat samaradorligini oshirishini ko'rsatadi. Elektroxirurgik jarrohlikning iqtisodiy samaradorligi ham 2023–2025 yillarda ko'plab tahlillarga sabab bo'ldi. Avtomatik quvvat nazorati tizimlari va tutun evakuatsiya texnologiyalari qo'llanilganda, operatsiya vaqti qisqarishi sababli klinikalar xarajatlari 12–15 % ga kamaygani qayd etildi. Bundan tashqari, bemorlarning tezroq tiklanishi kasalxona yotoq fondi aylanishini tezlashtirib, sog'liqni saqlash tizimiga qo'shimcha iqtisodiy foydakeltirmoqda.

Diagramma 1. Jarrohlik tuzunivakuatsiya qilish bo'yicha qonunlar kengayishi (AQSh, 2018-2025)



Izoh: Grafik tuzunivakuatsiya qilishning kengayib borayotganini ko'rsatadi, bu jarrohlik xonalaridaxavfsizlikni sezilarli oshiradi.

2024–2025 yillarda xalqaro sog'liqni saqlash tashkilotlari, xususan **ECRI Institute** va **FDA**, elektrojarrohlik uskunalari da issiqlik ta'sirini kamaytirish bo'yicha yangilangan ko'rsatmalar e'lon qildi. FDAning yangi loyihalari ishlab chiqaruvchilardan har bir yangi generatorning klinik xavfsizlik testlarini o'tkazishni talab qilmoqda. Bu talablar jarrohlik xonalari da xavfni kamaytirish va jihozlarning sifatini oshirishda muhim rol o'ynamoqda.

O'zbekiston sharoitida elektrojarrohlik texnologiyalarini rivojlantirish uchun xalqaro tajribalarni moslashtirish zarurligi ta'kidlanmoqda. Jumladan, IEC 60601 va FDA talablariga asoslangan sertifikatlash tizimlarini joriy etish, yangi generatorlarni klinik sinovlardan o'tkazish hamda shifokorlarni amaliy treninglar orqali tayyorlash asosiy yo'nalishlardan biri bo'lib qolmoqda.

So'nggi yillarda tibbiy simulyatsiya markazlarining rivojlanishi ham elektrojarrohlik xavfsizligini oshirishda muhim rol o'ynamoqda. 2025 yilda Toshkent va Samarqanddagi yangi o'quv markazlari jarrohlarga generator rejimlarini to'g'ritanlash, xavfli tuzunivakuatsiya qilish va xalqaro protokollarga amal qilish bo'yicha maxsus kurslar taklif qila boshladi.

Elektroxirurgiyada xavfsizlik madaniyatini rivojlantirish nafaqat shifokorlar, balki butun jarrohlik jamoasi uchun zarurdir. AORN (Association of periOperative Registered Nurses) tomonidan ishlab chiqilgan yo'riqnomalar jamoaviy ishlash, xavfsizlik ro'yxatlari va avariya tayyorgarlik bo'yicha aniq tavsiyalar beradi. Bunday yondashuvlar O'zbekistonda ham bosqichma-bosqich joriy etilmoqda.

Yuqori chastotali energiyadan foydalanishda xavfsizlikni ta'minlashning yana bir muhim jihati — elektr toki va issiqlik ta'sirini real vaqt rejimida monitoring qilishdir. 2025 yilda ishlab chiqilgan yangi sensor tizimlari generatorlarga integratsiya qilinib, to'qima qarshiligidagi o'zgarishlarni darhol aniqlab, quvvatni moslashtirish imkonini bermoqda.

THE MULTIDISCIPLINARY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**VOLUME-5, ISSUE-10**

Muhokama qilinayotgan barcha natijalar shuni ko'rsatadiki, elektrojarrohlik sohasida biofizik asoslarni chuqur o'rganish, xavfsizlikni oshirishga qaratilgan texnologiyalarni joriy etish va xalqaro me'yorlarga moslashish natijasida yangi bosqichga erishilmoqda. Bu nafaqat bemor xavfsizligini oshiradi, balki shifokorlar uchun qulay va samarali ish muhitini yaratadi. Kelgusida elektrojarrohlik sohasida sun'iy intellekt asosida quvvat nazoratini takomillashtirish, real vaqtlilik issiqlik xaritalarini yaratish va operatsiya jarayonini to'liq avtomatlashtirish kabi yo'nalishlar rivojlanishi kutilmoqda. Bunday innovatsiyalar bemor xavfsizligini yanada mustahkamlab, jarrohlikning yangi avlodini shakllantiradi.

Shunday qilib, 2023–2025 yillardagi ilmiy izlanishlar va klinik tajribalar elektrojarrohlikni nafaqat texnik, balki iqtisodiy va pedagogik jihatdan ham yangi bosqichga olib chiqdi. Bu yutuqlar O'zbekiston tibbiyot tizimi uchun dolzarb bo'lib, jarrohlik xavfsizligini oshirish, operatsiya samaradorligini yaxshilash va yangi avlod shifokorlarini zamonaviy texnologiyalar asosida tayyorlashda mustahkam po'ydevor yaratmoqda.

XULOSA

2023–2025 yillarda olib borilgan ilmiy izlanishlar va klinik tajribalar elektrojarrohlikning biofizik asoslari hamda uning amaliy qo'llanilishini sezilarli darajada rivojlantirdi. Yangi matematik modellar usullari (xususan, **Pennes bioheattenglamasi** asosidagi takomillashtirilgan hisoblashlar) to'qimalardagi issiqlik tarqalishini aniq prognoz qilish imkonini berdi. Bu yondashuv jarrohlik amaliyotida to'g'ri quvvat rejimlarini tanlash, nekroz hududini minimal darajada ushlab turish va qon yo'qotishni kamaytirish imkonini yaratdi.

So'nggi ikki yilda yuqori chastotali generatorlar (HF) avtomatik quvvat nazorati, real vaqt monitoringi va xavfsizlik tizimlari bilan jihozlandi. AQSh va Germaniyada 2024 yilda o'tkazilgan tadqiqotlar ko'rsatishicha, bunday generatorlardan foydalanilganda qon yo'qotish 28 % ga kamaygan, operatsiyavaqti esa 20 % ga qisqargan. Bu bemor xavfsizligi va jarrohlik samaradorligini oshirishda muhim qadam bo'ldi. Xalqaro miqyosda elektrojarrohlik xavfsizligini oshirishga qaratilgan yangi normativ-huquqiy hujjatlar qabul qilindi. **IEC 60601- 2-2:2017/AMD1:2023** standarti HF jarrohlik jihozlari uchun yangilandi, **FDA** esa issiqlik ta'sirini baholash va yangi generatorlarni klinik sinovdan o'tkazish bo'yicha yangi ko'rsatmalar e'lon qildi. Shu bilan birga, AQShning 2018–2025 yillar oralig'ida 20 shtatida jarrohlik tutunini majburiy evakuatsiya qilish bo'yicha qonunlar qabul qilindi. O'zbekiston sog'liqni saqlash tizimi ham zamonaviy xalqaro talablar bilan uyg'unlashmoqda. 2024–2025 yillarda Sog'liqni saqlash vazirligi tomonidan operatsion xonalarda tutun filtrlash tizimlarini joriy etish va HF uskunalari sertifikatlash bo'yicha yangi nizomlar tasdiqlandi. Toshkent, Samarqand va Farg'ona viloyatlarida zamonaviy elektrojarrohlik generatorlari bilan jihozlangan 12 ta operatsion xona foydalanishga topshirildi. Natijada, bemorlarning tiklanish muddati o'rtacha 2,5 kunga qisqardi, asoratlar esa 18 % ga kamaydi.

Elektroxirurgiya sohasi kelgusida ham rivojlanishda davom etadi. Quvvat nazoratida sun'iy intellektdan foydalanish, real vaqtlilik issiqlik xaritalash texnologiyalarini joriy etish va xavfsizlik protokollarini takomillashtirish jarrohlikning samaradorligini yanada oshiradi. O'zbekiston uchun xalqaro tajribalarni moslashtirish, shifokorlarni zamonaviy treninglar orqali tayyorlash va yangi normativ-huquqiy talablarni bosqichma-bosqich joriy etish dolzarb bo'lib qoladi.

1. IEC 60601-2-2:2017/AMD1:2023 — Medical electrical equipment –Particular requirements for basic safety and essential performance of high frequency surgical equipment.
2. FDA. “Thermal Effects of Electrosurgical Devices: Guidance for Industry and FDA Staff.” Silver Spring, 2024.
3. ECRI Institute. “Top 10 Health Technology Hazards 2024–2025.” Plymouth Meeting, PA, USA.
4. Association of periOperative Registered Nurses (AORN). “Guidelines for Surgical Smoke Safety.” Denver, 2024.
5. Kimura T., et al. “Real-time impedance monitoring in electrosurgery: Improving safety and efficiency.” *Journal of Surgical Research*, 2024;278:112–120.
6. Müller J., Schmidt P. “Advances in Pennes Bioheat Models for Electrosurgery.” *Biomedical Engineering Online*, 2024.
7. ParkH.,LeeJ. “Impactofautomaticpowercontrolonsurgicaloutcomes.” *InternationalJournalofSurgery*,2024;99:45–56.
8. World Health Organization (WHO). “Guidelines on surgical smoke and occupational safety.” Geneva, 2025.
9. O‘zbekiston Respublikasi Sog‘liqni saqlash vazirligi. “Elektroxirurgik uskunalar xavfsizligi bo‘yicha normativ-huquqiy hujjatlar to‘plami.” Toshkent, 2024.
10. AORN. *SurgicalSmokeEvacuationSystems:SafetyStandards*. Denver, 2023.
11. Germaniya Sog‘liqni saqlash instituti. “Xirurgik xonalarda tutun filtrlash texnologiyalari bo‘yicha ko‘rsatmalar.” Berlin, 2024.
12. T.Yamada,K.Ishikawa. “Energy-basedsurgery:Latestbioheatstudies.” *JapaneseJournalofMedicalPhysics*,2025.
13. O‘zbekiston Respublikasi Sog‘liqni saqlash vazirligi. “Operatsion bloklarda tutun filtrlash tizimlarini joriy etish bo‘yicha ko‘rsatmalar.” Toshkent, 2025.
14. EuropeanCommitteeforElectrotechnicalStandardization(CENELEC). “High Frequency Surgical Equipment Standards.” Brussels, 2024.
15. KimS.,ParkD. “Economicimpactofadvancedelectrosurgicalgenerators.” *HealthTechnologyandEconomics*,2025;12(3):211–225.