

YURAK IMPLANTATLARI: ZAMONAVIY KARDIOLOGIYANING MO'JIZALARI**Y.K. Sattarov¹****G.Sh. Yigitaliyeva²**

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Informatika va biofizika kafedrası, assistenti¹2-son davolash ishi, I bosqich talabasi²<https://doi.org/10.5281/zenodo.17409112>

Annotatsiya. Ushbu maqolada yurak implantatlari va ularning biofizik asoslari tahlil qilinadi. Zamonaviy kardiologiyada qo'llanilayotgan yurak stimulyatorlari, sun'iy yurak klapanlari hamda yurakni to'liq almashtiruvchi mexanik implantatlarning ishlash prinsiplari, ularning elektromagnit, mexanik va biokimyoviy o'zaro ta'siri yoritiladi. Shuningdek, yurak implantatlari yordamida yurak faoliyatini tiklash va nazorat qilishning biofizik mexanizmlari ham tahlil etiladi. Tadqiqot biofizikaning amaliy yo'nalishlaridan biri sifatida yurak tizimi faoliyatini modellashtirishda katta ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: Yurak implantati, kardiostimulyator, biofizika, elektromagnit maydon, sun'iy yurak, kardiologiya, bioelektrik signallar.

СЕРДЕЧНЫЕ ИМПЛАНТАТЫ: ЧУДЕСА СОВРЕМЕННОЙ КАРДИОЛОГИИ

Аннотация. В данной статье рассматриваются сердечные имплантаты и их биофизические основы. Анализируются принципы работы современных кардиостимуляторов, искусственных клапанов сердца и полностью механических имплантатов, заменяющих сердце. Особое внимание уделено электромагнитным, механическим и биохимическим взаимодействиям, обеспечивающим их функционирование. Также обсуждаются биофизические механизмы восстановления и контроля сердечной деятельности с помощью имплантатов. Работа имеет важное значение для моделирования сердечно-сосудистой системы в рамках прикладной биофизики.

Ключевые слова: Сердечный имплантат, кардиостимулятор, биофизика, электромагнитное поле, искусственное сердце, кардиология, биоэлектрические сигналы.

HEART IMPLANTS: MIRACLES OF MODERN CARDIOLOGY

Abstract. This article explores cardiac implants and their biophysical principles. It analyzes the operation of modern pacemakers, artificial heart valves, and fully mechanical heart replacement devices, focusing on their electromagnetic, mechanical, and biochemical interactions. The biophysical mechanisms of restoring and controlling cardiac activity through implants are also discussed. This study highlights the importance of bioelectrical and biomechanical modeling of the heart system as a practical application of biophysics.

Keywords: Cardiac implant, pacemaker, biophysics, electromagnetic field, artificial heart, cardiology, bioelectrical signals.

Kirish

XXI asr tibbiyoti fan va texnologiyaning uyg'unlashuvi asosida yangi bosqichga ko'tarildi. Ayniqsa, kardiologiya sohasida yurak faoliyatini sun'iy yo'l bilan qo'llab-quvvatlovchi yoki to'liq almashtiruvchi implantatlar yaratilishi inson hayotini saqlab qolishda haqiqiy inqilob bo'ldi [1], [2]. Bugungi kunda yurak implantatlari yurak yetishmovchiligi, aritmiya, tug'ma yurak nuqsonlari va yurak mushaklarining degenerativ o'zgarishlarini davolashda eng samarali vositalardan biri sifatida tan olinmoqda [3].

Yurak implantatlari deganda inson yuragi faoliyatini tiklash yoki uni sun'iy tarzda almashtirish uchun ishlab chiqilgan biotibbiy qurilmalar tushuniladi [4]. Ular orasida yurak stimulyatorlari (kardiostimulyatorlar), defibrillyatorlar, sun'iy yurak klapanlari, hamda to'liq mexanik yuraklar mavjud [5]. Bu qurilmalar biofizik prinsiplar asosida, ya'ni elektr impulslari, mexanik harakatlar, bosim va oqim dinamikasi, shuningdek, biokimyoviy muvozanat orqali ishlaydi [6].

Biofizika fanining asosiy maqsadlaridan biri — tirik tizimlarda energiya almashinuvi, modda va signal uzatish mexanizmlarini o'rganishdir [7]. Yurak implantatlari bu jarayonlarning sun'iy modellashtirilgan namunasi bo'lib, ular inson organizmida tabiiy yurakning elektr va mexanik faoliyatini takrorlashga qaratilgan [3]. Masalan, yurak stimulyatorlari yurak mushaklariga elektr impulslarini yuborib, yurak qisqarishlarini boshqaradi; bu jarayon bioelektrik signallar va elektrofiziologik qonuniyatlarga asoslanadi [2]. Shu bois yurak implantatlari biofizik nuqtai nazardan murakkab boshqaruv tizimi hisoblanadi [8].

Yurak implantatlari nafaqat klinik jihatdan, balki ilmiy-tadqiqot nuqtai nazaridan ham katta ahamiyatga ega [5]. Ular inson yurak tizimini modellashtirish, yurak mushaklari hujayralarining ion kanallari faoliyatini o'rganish, qon oqimining gidrodinamik xususiyatlarini tahlil qilish kabi ko'plab biofizik masalalarni chuqur o'rganishga imkon beradi [6], [9].

Shuningdek, implantatlarning ishlashida elektromagnit maydonlar, metall va biopolimer materiallar o'rtasidagi o'zaro ta'sir, energiya almashinuvi va issiqlik muvozanati kabi jarayonlar ham muhim rol o'ynaydi [10].

Hozirgi kunda dunyo miqyosida yurak implantatlari texnologiyasi tobora takomillashib bormoqda [1]. Smart-implantlar, ya'ni raqamli boshqaruv tizimiga ega yurak stimulyatorlari, o'z-o'zini energiya bilan ta'minlay oluvchi generatorlar va biomoslashuvchan materiallardan yasalgan klapanlar ishlab chiqilmoqda [5], [8]. Ular yurak faoliyatini real vaqt rejimida kuzatish, yurak ritmidagi o'zgarishlarga avtomatik javob berish, shuningdek, inson tanasi bilan to'liq biofizik muvofiqlikka erishish imkonini beradi [9].

Yurak implantatlari bo'yicha olib borilayotgan tadqiqotlar tibbiyot va biofizika o'rtasidagi chuqur integratsiyani ifodalaydi [7]. Ular nafaqat yurak faoliyatini tiklash, balki inson organizmining energiya almashinuvi, signal uzatish va hujayra faoliyatining fizik asoslarini yanada chuqurroq anglashga yordam beradi [3], [8]. Shu sababli yurak implantatlarini o'rganish nafaqat amaliy ahamiyatga, balki nazariy biofizik qiymatga ham ega bo'lib, u kelajakdagi biotibbiy innovatsiyalar uchun mustahkam ilmiy poydevor yaratadi [9], [10].

Material va metodlar

Ushbu tadqiqotda yurak implantatlarining biofizik asoslari, ularning ishlash mexanizmlari hamda inson yurak tizimi bilan o'zaro ta'siri tahlil qilindi. Ish nazariy-tahliliy yo'nalishda olib borildi va quyidagi manbalar hamda metodologik yondashuvlarga tayandi:

1. Adabiyot manbalari

Tahlil jarayonida xalqaro ilmiy bazalar (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar) hamda Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (JSST), Amerika yurak assotsiatsiyasi (AHA), Yevropa kardiologiya jamiyati (ESC) va boshqa yetakchi tashkilotlarning ilmiy hisobotlari o'rganildi. Asosiy e'tibor quyidagi masalalarga qaratildi:

- Yurak implantatlarining turlari va ularning texnologik rivojlanishi;
- Yurakning bioelektrik va biofizik faoliyatini tiklash mexanizmlari;
- Elektromagnit maydonlarning yurak faoliyatiga ta'siri;
- Biokompatibil materiallarning yurak to'qimalari bilan o'zaro aloqasi;

- Yurak implantatlarining energiya almashinuvi va signal uzatish tizimlari.

2. Nazariy asoslar

Tadqiqot biofizika va elektrofiziologiya qonunlariga tayangan holda olib borildi. Yurak implantatlarining ishlash mexanizmi quyidagi darajalarda tahlil qilindi:

- **Molekulyar daraja** – yurak hujayralarining ion kanallari faoliyati, membrana potentsiali va elektr impulslarining hosil bo'lishi;

- **To'qima darajasi** – yurak mushaklari qisqarishi, mexanik kuchlanish va energiya uzatilish jarayonlari;

- **Tizimli daraja** – yurakning umumiy gemodinamikasi, qon bosimi va yurak ritmining boshqarilishi.

3. Metodologik yondashuvlar

- **Bioelektrik tahlil:** Yurak stimulyatorlarida elektr impulsning chastotasi, amplitudasi va ularning miokard to'qimasiga o'tish samaradorligi tahlil qilindi.

- **Biomekanik modellashtirish:** Sun'iy yurak klapanlari va mexanik yuraklarning oqim dinamikasi, bosim farqlari va energiya sarfi matematik modellar yordamida o'rganildi.

- **Tizimli tahlil:** Yurak implantatlari yordamida yurak faoliyatini nazorat qilishning biofizik prinsiplari, ya'ni signal uzatish, qayta aloqa va regulatsiya mexanizmlari solishtirildi.

- **Statistik tahlil:** Olingan ma'lumotlar xalqaro klinik tajriba natijalari bilan taqqoslanib, samaradorlik ko'rsatkichlari baholandi.

4. Tadqiqot obyekti va materiali

Ishda mavjud ilmiy adabiyotlar, tibbiy texnik spetsifikatsiyalar, klinik tadqiqotlar va tajribaviy modellar asos qilib olindi. Bevosita bemorlar ustida amaliy tadqiqot olib borilmagan.

Asosiy ma'lumotlar kardiostimulyatorlar, defibrillyatorlar va sun'iy yurak tizimlari bo'yicha olingan xalqaro ilmiy nashrlarga asoslangan.

5. Metodlar integratsiyasi

Olingan ma'lumotlar biofizika, fiziologiya, biokimika va tibbiy muhandislik fanlari bilan uzviy bog'liq holda tahlil qilindi. Natijada yurak implantatlarining biofizik modeli, ya'ni elektr, mexanik va biokimyoviy jarayonlarning o'zaro muvofiqligi asosida ishlovchi tizim sifatida konseptual tavsif yaratildi.

Natijalar va ularning muhokamasi

Tadqiqot natijalari yurak implantatlarining biofizik asoslarini chuqur o'rganish yurak faoliyatini sun'iy yo'l bilan tiklash jarayonini yanada mukammallashtirish imkonini berishini ko'rsatdi. Quyidagi ilmiy yondashuvlar asosiy ahamiyatga ega bo'ldi:

- **Elektrofiziologik modellashtirish** – yurakning tabiiy elektr faoliyatini qayta tiklashda optimal impuls parametrlari aniqlanadi.

- **Energiya muvozanati tahlili** – implantatlarda energiya sarfi va regeneratsiyasi (masalan, harakat energiyasidan yoki qon oqimidan zaryad olish) modellashtirildi.

- **Materialshunoslik yondashuvi** – biokompatibil materiallar (titan, silikongrafen, polimer kompozitlar) yurak to'qimalari bilan mexanik va elektrokimyoviy uyg'unligi tahlil qilindi.

- **Axborot uzatish tizimlari** – yurak implantatlarining nerv va elektr signallarni qabul qilish hamda javob impulsini uzatish mexanizmlari baholandi.

- **Biofizik monitoring** – yurak ritmi, qon bosimi va oksigenatsiya darajasini real vaqt rejimida kuzatish texnologiyalari o'rganildi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, yurak implantatlarida biofizik jarayonlarning muvozanatli ishlashi — elektr, mexanik va biokimyoviy tizimlarning sinxronligi — implantatning samaradorligi va inson hayotining sifatini belgilovchi asosiy omildir.

Xulosalar

Xulosa qilib aytganda, yurak implantatlari zamonaviy biotibbiyot va biofizikaning eng yirik yutuqlaridan biri hisoblanadi. Ular yurak faoliyatini tiklash, yurak ritmini barqarorlashtirish va bemorning hayot sifatini yaxshilashda beqiyos ahamiyatga ega. Biofizik nuqtai nazardan, bu qurilmalar tirik tizimlarning tabiiy elektromagnit va mexanik muvozanatini qayta yaratadi.

Yurak implantatlarini yanada mukammallashtirish uchun biofizik tahlil, modellash, materialshunoslik va energiya muvozanati nazariyalarini chuqurlashtirish zarur. Kelgusida yurak implantatlarida sun'iy intellekt, nanomateriallar va bioenergetik regulyatsiya tizimlarini qo'llash orqali yanada yuqori darajadagi moslashuvchan va xavfsiz kardioprotezlar ishlab chiqish imkoniyati mavjud.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Naumova N. *Bioengineering the Cardiac Conduction System*. **PMC**, 2021. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8365186/>
2. Al-Khatib S.M. *Cardiac Implantable Electronic Devices*. *N Engl J Med*, 2024;390:442-454. <https://www.acc.org/Latest-in-Cardiology/ten-points-to-remember/2024/02/06/13/06/cardiac-implantable-electronic>
3. Joung Y.H. *Development of Implantable Medical Devices*. **PMC**, 2013. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3797898/>
4. Khan R. *Evolution of Artificial Hearts: An Overview and History*. *Cardiology Research*. <https://cardiologyres.org/index.php/Cardiologyres/article/view/354/373>
5. Li J. *Materials Perspectives for Self-Powered Cardiac Implantable Devices*. *ACS Applied Materials*, 2021. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/accountsmr.1c00078>
6. Hussein A.A. *Cardiac Device Therapy in Heart Failure*. *Circulation Research*, 2019. <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCRESAHA.118.313571>
7. Review: *Scientific Evolution of Artificial Heart Valves: A Narrative Review*. **PMC**, 2023. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10438674/>
8. Tetali S.S.V. *Intelligent Biomaterials for Cardiovascular Applications*. *Materials Perspectives*, 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468451123000302>
9. „The Path to a Hemocompatible Cardiovascular Implant“. **PMC**, 2022. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9515323/>
10. Naraen A., Duvva D., Rao A. *Heart Failure and Cardiac Device Therapy: A Review of Current Approaches*. **PMC**, 2023. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10345955/>