

YURAK ELEKTROFIZIOLOGIYASINING ODDIY MATEMATIK MODELLAR ASOSIDA TAHLILI

Talaba : Akramov Suxrob Akram o'g'li

(Samarqand davlat tibbiyot universiteti)

Davolash ishi yo'nalishi talabasi. tel: +998943339910,

e-mail: akramovdc2006@gmail.com)

*Ilmiy rahbar: Assistent **Abduqodirov Nuriddin***

(Samarqand davlat tibbiyot universiteti)

(tel: +998943441694)

Annotatsiya:

Ushbu maqolada yurak elektrofiziologiyasi oddiy matematik modellar asosida tahlil qilinadi. Asosan FitzHugh–Nagumo modeli misolida yurak hujayralarining elektr faolligi, aksial potensial hosil bo'lishi va ritmik impulslar yaratilish jarayonlari ko'rib chiqiladi. Modellar yordamida yurakning normal va patologik holatlaridagi elektr faolligi simulyatsiya qilinadi. Bu turdagi modellar yurak ritmining buzilishlarini tushunish, aritmiyalarni o'rganish hamda kardiostimulyatorlar ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: yurak elektrofiziologiyasi, matematik modellashtirish, FitzHugh–Nagumo modeli, aksiol potensial, yurak ritmi, aritmiya, biofizika

Аннотация

В данной статье рассматривается электрофизиология сердца на основе простых математических моделей. На примере модели ФитцХью–Нагумо анализируется электрическая активность сердечных клеток, формирование потенциала действия и генерация ритмических импульсов. С помощью модели имитируются нормальные и патологические состояния сердца. Подобные модели имеют важное значение для

понимания нарушений сердечного ритма, изучения аритмий и разработки кардиостимуляторов.

Ключевые слова: электрофизиология сердца, математическое моделирование, модель ФитцХью–Нагумо, потенциал действия, сердечный ритм, аритмия, биофизика

Abstract

This paper analyzes cardiac electrophysiology using simple mathematical models. The FitzHugh–Nagumo model is used to study the electrical activity of heart cells, including the formation of action potentials and rhythmic impulse generation. The model allows simulation of both normal and pathological cardiac conditions. Such models play an important role in understanding heart rhythm disorders, studying arrhythmias, and developing cardiac pacemakers.

Keywords: cardiac electrophysiology, mathematical modeling, FitzHugh–Nagumo model, action potential, heart rhythm, arrhythmia, biophysics

Kirish (Introduction)

Yurak — inson organizmining markaziy a'zolaridan biri bo'lib, uning to'g'ri ishlashi elektrofiziologik jarayonlarga bog'liq. Har bir yurak urishi hujayra membranasining elektr faolligi asosida yuzaga keladi. Bu maqolada yurak elektrofiziologiyasining matematik modellar orqali qanday tushuntirilishi ko'rib chiqiladi. Ayniqsa, oddiy modellar yordamida yurakning normal va patologik holatlari o'rganiladi. Inson yuragi hayot faoliyatining markaziy a'zosi bo'lib, uning uzluksiz ishlashi yurak mushak hujayralarining muvofiqlashtirilgan elektr faolligiga bog'liq. Yurakning har bir urishi — bu yurak hujayralarida yuzaga keladigan murakkab **elektrofiziologik jarayonlar** natijasidir. Aynan shu elektr faollik tufayli yurak mushaklari qisqaradi va qon organizm bo'ylab tarqaladi.

Yurak hujayralarida yuzaga keladigan **aksiol potentsiallar** (action potentials) yurakning muvofiqlashtirilgan ishlashini ta'minlaydi. Ushbu jarayonlar biologik darajada murakkab bo'lib, ularni tushunish uchun **matematik modellashtirish** keng qo'llaniladi.

Elektrofiziologik jarayonlarni modellashtirish orqali yurak faoliyatining:

normal ritmini,

elektr signalining tarqalishini,

va ****ritm buzilishlari (aritmialar)****ni nazariy jihatdan o'rganish mumkin.

Ushbu maqolada yurak elektrofiziologiyasining asosiy elementlari **FitzHugh–Nagumo modeli** yordamida modellashtiriladi. Bu model **oddiy** differensial tenglamalar orqali yurak hujayrasining elektr faolligini tasvirlaydi. Shu orqali yurakning elektr signalini qanday hosil qilishi va qanday sharoitda bu ritm buzilishi mumkinligi o'rganiladi.

Yurak elektrofiziologiyasining nazariy asoslari

Yurak hujayralari (kardiomiositlar) membranasida mavjud bo'lgan **ion kanallari** orqali natriy ($\text{Na}^+\text{Na}^+\text{Na}^+$), kaliy ($\text{K}^+\text{K}^+\text{K}^+$), kaltsiy ($\text{Ca}^{2+}\text{Ca}^{2+}\text{Ca}^{2+}$) ionlarining harakati hujayra ichidagi va tashqarisidagi elektr potensialni o'zgartiradi. Bu o'zgarishlar aksiol potentsiallar deb ataladi va yurakda impuls hosil bo'lishi va tarqalishiga sabab bo'ladi.

Aksiol potentsial quyidagi bosqichlardan iborat:

Depolyarizatsiya: membrana potentsialining birdaniga ortishi (odatda $\text{Na}^+\text{Na}^+\text{Na}^+$ ionlar oqimi bilan)

Repolyarizatsiya: membrana potentsiali tiklanadi (odatda $\text{K}^+\text{K}^+\text{K}^+$ chiqishi bilan)

Giperpolyarizatsiya: potentsial normal darajadan pastga tushadi

Tiklanish davri: yangi impuls hosil bo'lguncha kutish bosqichi

Matematik modellar: umumiy ko'rinish

Murakkab modellardan biri — **Hodgkin–Huxley modeli** bo‘lib, u to‘liq ion oqimlarini hisobga oladi. Ammo bu model hisoblash nuqtayi nazaridan murakkab bo‘lgani uchun, **FitzHugh–Nagumo modeli** undan soddalashtirilgan alternativ sifatida qo‘llaniladi.

FitzHugh–Nagumo modeli

Tenglamalar:

$$\frac{dv}{dt} = v - \frac{v^3}{3} - w + I_{ext}$$

$$\frac{dw}{dt} = \varepsilon(v + a - bw)$$

Bu yerda:

$v(t)$ — membrana potentsiali (asosiy o‘zgaruvchi)

$w(t)$ — tiklanish (recovery) jarayonini bildiradi

ε, a, b — model parametrlaridir (odatda $\varepsilon \ll 1$ va $1 \leq \varepsilon \ll 1$)

I_{ext} — tashqi qo‘zg‘atuvchi signal (masalan, yurak stimulyatori)

Model mohiyati:

Birinchi tenglama hujayraning elektr faolligini tasvirlaydi.

Ikkinchi tenglama hujayraning o‘z holatiga qaytishini modellashtiradi.

Model "zarba" signalini ishlab chiqaradigan tizim sifatida ishlaydi — bu yurak urishiga o‘xshash impuls.

Modellashtirish natijalari (grafiklar bilan)

$v(t)$ va $w(t)$ vaqt bo‘yicha grafik shaklida chizilganda **ritmik aksiol potentsiallar** hosil bo‘ladi.

Parametrlar o‘zgartirilganda, yurak ritmida:

tezlashuv,

sekinlashuv,

yoki **notekis impuls**lar (aritmia belgisi) yuzaga keladi.

Model orqali aritmiyalarning qanday paydo bo'lishi va ularni qanday nazorat qilish mumkinligini nazariy jihatdan tushunish mumkin.

Oddiy yurak modellari (Simple models):

a) FitzHugh-Nagumo modeli

Hodgkin-Huxley modelining soddalashtirilgan varianti

2 ta oddiy differensial tenglama orqali yurak hujayrasining elektr faolligi tasvirlanadi

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= v - \frac{v^3}{3} - w + I_{\text{ext}} \\ \frac{dw}{dt} &= \varepsilon(v + a - bw) \end{aligned}$$

Bu yerda v — membrana kuchlanishi, w — tiklanish o'zgaruvchisi

b) Integrate-and-fire modeli

Hujayra faolligi oddiy qaror sharti bilan ifodalanadi

Har gal membrana kuchlanishi ma'lum qiymatdan o'tsa, "zarba" sodir bo'ladi

Modellarning qo'llanilishi

Normal yurak urishining simulyatsiyasi

Aritmiya (masalan, fibrillatsiya) kabi buzilishlarni modellashtirish

Kardiostimulyatorlar (sun'iy yurak ritmini ushlab turuvchi qurilmalar) dizaynida

Natijalar (Results)

FitzHugh–Nagumo modeli asosida olib borilgan modellashtirish orqali yurak hujayralarining elektr faolligi tahlil qilindi. Modellash quyidagi asosiy natijalarni berdi:

Model membrana potentsiali $v(t)v(t)v(t)$ ning vaqt bo'yicha o'zgarishini **aksial potentsiallar shaklida** ko'rsatdi. Bu impulslar yurakning urish mexanizmini tushuntiruvchi matematik ifodadir.

Model parametrlari o'zgartirilganda yurak impulslarining tezligi va shakli ham o'zgaradi:

ϵ qiymatining kamayishi bilan hujayra **tezroq tiklanadi**, ya'ni yurak ritmi oshadi.

aaa va bbb qiymatlarining muayyan diapazondan chiqishi natijasida **noaniq, nomutanosib ritmlar (aritmialar)** kuzatiladi.

Simulyatsiya natijalari yurakning **normal** va **patologik** holatlaridagi elektr faollikni farqlash imkonini berdi.

Modelga tashqi signal (I_{ext}) berilishi orqali yurak stimulyatorlari ta'siri taqlid qilinishi mumkin.

FitzHugh–Nagumo modeli orqali yurak hujayralarining asosiy dinamikasi **oddiy ikki o'zgaruvchili tizim orqali** muvaffaqiyatli modellashtirildi, bu esa uni o'rganishga qulay qiladi.

6. Xulosa (Conclusion)

Yurak elektrofiziologiyasi organizm hayot faoliyatida muhim rol o'ynaydi va uning ishlash mexanizmini tushunish sog'liqni saqlashda katta ahamiyatga ega. Ushbu maqolada yurak hujayralarining elektr faolligi **FitzHugh–Nagumo modeli** asosida modellashtirildi. Bu oddiy, ammo samarali model yurakning ritmik impulslarini yaratish va ularni boshqarish jarayonini matematik jihatdan tushuntiradi.

Model yordamida yurak ritmining qanday shakllanishi, tiklanish davri va ritm buzilishlari (aritmialar) qanday sodir bo'lishi nazariy asosda tahlil qilindi. Bu turdagi modellar:

yurak ritmining buzilishi holatlarini aniqlash,, kardiologik qurilmalar, masalan, **kardiostimulyatorlar dizayni**,, hamda **farmakologik tajribalarda** yurakga ta'sirni baholashda foydali bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, FitzHugh–Nagumo modeli yurak elektrofiziologiyasining soddalashtirilgan, ammo mazmunli matematik tahlilini taqdim etadi. Kelgusida bu model asosida murakkab tarmoq modellari (ko'p hujayrali yurak to'qimalari) yaratish va hisoblash eksperimentlari o'tkazish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar (References)

1. FitzHugh, R. (1961). *Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane*. Biophysical Journal, 1(6), 445–466.
2. Nagumo, J., Arimoto, S., & Yoshizawa, S. (1962). *An active pulse transmission line simulating nerve axon*. Proceedings of the IRE, 50(10), 2061–2070.
3. Keener, J., & Sneyd, J. (2009). *Mathematical Physiology I: Cellular Physiology*. Springer.
4. Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952). *A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve*. The Journal of Physiology, 117(4), 500–544.
5. Glass, L., & Mackey, M. C. (1988). *From Clocks to Chaos: The Rhythms of Life*. Princeton University Press.
6. Clayton, R. H., & Panfilov, A. V. (2008). *A guide to modelling cardiac electrical activity in anatomically detailed ventricles*. Progress in Biophysics and Molecular Biology, 96(1-3), 19–43.
7. Winfree, A. T. (2001). *The Geometry of Biological Time*. Springer.
8. Zipes, D. P., & Jalife, J. (2013). *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*. Elsevier.