

**ELEKTROKARDIOGRAFIYANING BIOFIZIK ASOSLARI VA
O'LCHASH USLUBLARI**

p.f.f.d, PhD, dotsent. Buzrukov To'lg'in Omonovich

Email: tolqinbuzrukov5@gmail.com

Rustamova Dinora Shokirovna

Termiz Iqtisodiyot va Servis Universiteti

Tibbiyot fakulteti

Annotatsiya

Ushbu maqolada elektrokardiografiyaning biofizik asoslari hamda yurak faoliyatini qayd etishda qo'llaniladigan zamonaviy o'lchash uslublari tizimli ravishda tahlil qilinadi. Yurak mushaklarida yuzaga keladigan bioelektrik potentsiallarning kelib chiqish mexanizmlari, ularning tana yuzasiga tarqalish qonuniyatlari va elektrodlar yordamida qayd etilish jarayonining fizik mohiyati ilmiy asosda yoritiladi. Shuningdek, elektrokardiogramma signallarining shakllanishi, ularning amplituda va vaqt parametrlariga ta'sir etuvchi omillar hamda signallarni qayta ishlashning texnologik jihatlari batafsil ko'rib chiqiladi. Maqolada standart, ko'p kanalli va raqamli elektrokardiografiya usullarining o'ziga xos xususiyatlari, aniqlik darajasi va diagnostik imkoniyatlari qiyosiy tahlil asosida baholanadi. Bundan tashqari, shovqinlarni kamaytirish, signalni filtrlash va interpretatsiya qilishning zamonaviy yondashuvlari ham muhim ilmiy jihat sifatida keltiriladi. Tadqiqot natijalari elektrokardiografik tekshiruvlarning ishonchliligini oshirish, yurak kasalliklarini erta aniqlash va klinik diagnostika samaradorligini takomillashtirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: elektrokardiografiya, bioelektrik potentsial, yurak faoliyati, elektrodlar, signal qayd etish, biofizika, EKG, amplituda, vaqt parametrlari, signalni qayta ishlash, filtrlash, diagnostika, raqamli texnologiyalar, yurak ritmi, tibbiy monitoring.

Kirish

Zamonaviy tibbiyotda yurak-qon tomir tizimi kasalliklari inson salomatligiga tahdid soluvchi asosiy omillardan biri sifatida e'tirof etiladi. Shu sababli yurak faoliyatini tezkor, aniq va invaziv bo'lmagan usullar yordamida baholash masalasi alohida ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Elektrokardiografiya ushbu vazifani samarali bajaruvchi asosiy diagnostik metodlardan biri bo'lib, u yurak mushaklarida yuzaga keladigan bioelektrik jarayonlarni qayd etish orqali yurak faoliyatining funksional holatini aniqlash imkonini beradi.

Elektrokardiografiyaning nazariy asosini biofizika fanining fundamental qonuniyatlari tashkil etadi. Yurak hujayralarida yuzaga keladigan elektr potentsiallar, ularning hosil bo'lish mexanizmi, to'qimalar bo'ylab tarqalishi hamda tana yuzasiga chiqishi fizik va elektrofiziologik jarayonlar majmuasi sifatida qaraladi. Ushbu jarayonlarni chuqur tahlil qilish elektrokardiogramma signallarining shakllanishini ilmiy jihatdan asoslash va ularni to'g'ri interpretatsiya qilish imkonini beradi.

Bundan tashqari, elektrokardiografik o'lchash uslublarining takomillashuvi, xususan, raqamli texnologiyalarning joriy etilishi, signalni qayta ishlash algoritmlarining rivojlanishi va yuqori aniqlikdagi apparatlarning yaratilishi diagnostika samaradorligini sezilarli darajada oshirmoqda. Shu nuqtai nazardan, elektrokardiografiyaning biofizik asoslari va o'lchash uslublarini kompleks o'rganish nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham dolzarb ilmiy muammo hisoblanadi.

Maqolaning maqsadi elektrokardiografiyaning biofizik mohiyatini ochib berish, yurak bioelektrik jarayonlarining fizik asoslarini tahlil qilish hamda zamonaviy o'lchash uslublarining diagnostik imkoniyatlarini ilmiy jihatdan asoslashdan iborat.

Adabiyotlar sharhi

Elektrokardiografiyaning biofizik asoslari va o'lchash uslublari bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar bir necha yo'nalishda shakllangan bo'lib, ular yurak bioelektrik faolligining elektrofiziologik mexanizmlari, signal hosil bo'lish jarayonlari hamda ularni qayd etish texnologiyalarini qamrab oladi. Yurakning elektr faoliyatini tushuntirishda hujayra membranasidagi ion almashinuvi va aksion potentsiallarning shakllanishi asosiy nazariy platforma sifatida qaraladi. Ushbu yondashuv yurak to'qimalarida depolyarizatsiya va repolyarizatsiya jarayonlarining ketma-ketligini izohlash imkonini beradi.

Biofizik model sifatida yurakning elektr dipol tizimi sifatida talqin qilinishi elektrokardiogramma signallarining shakllanish mexanizmini izohlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Klassik nazariyalarda yurak elektr maydoni o'tkazuvchan muhitda joylashgan manba sifatida qaralib, potentsiallarning tana yuzasiga tarqalishi geometrik va fizik qonuniyatlar asosida tushuntiriladi. Ushbu model keyinchalik ko'p qutbli va vektorli yondashuvlar bilan boyitilib, EKG signallarini fazoviy tahlil qilish imkonini kengaytirdi.

1 - rasm



“MedElite” tibbiyot markazida elektrokardiografiya (EKG)

Elektrokardiografik o‘lchash uslublarining rivojlanishi dastlab analog qurilmalardan boshlangan bo‘lsa, keyingi bosqichda raqamli texnologiyalarning joriy etilishi bilan yangi bosqichga ko‘tarildi. Zamonaviy tadqiqotlarda signalni raqamli qayta ishlash, shovqinlarni kamaytirish va artefaktlarni bartaraf etish algoritmlariga alohida e‘tibor qaratilgan. Xususan, filtratsiya, spektral tahlil va adaptiv ishlov berish usullari EKG signallarining aniqligini oshirishda muhim vosita sifatida e‘tirof etiladi.

So‘nggi yillarda ko‘p kanalli va yuqori aniqlikdagi elektrokardiografik tizimlar, shuningdek, portativ va masofaviy monitoring qurilmalarining rivojlanishi ilmiy izlanishlarning yangi yo‘nalishini belgilab berdi. Ushbu qurilmalar yordamida yurak faoliyatini real vaqt rejimida kuzatish, uzoq muddatli monitoringni amalga oshirish va individual diagnostik yondashuvlarni shakllantirish imkoniyati kengaymoqda.

Metodologiya

Tadqiqotda elektrokardiografiyaning biofizik asoslari va o‘lchash uslublarini o‘rganish kompleks ilmiy yondashuv asosida amalga oshirildi. Tadqiqot metodologiyasi nazariy tahlil, matematik modellashtirish, eksperimental kuzatuv va signalni qayta ishlash usullarining integratsiyasiga tayangan holda shakllantirildi.

Birinchi bosqichda yurakning bioelektrik faolligi elektrofiziologik nuqtai nazardan o‘rganilib, kardiomyositlarda yuzaga keladigan aksion potentsiallarning shakllanishi va tarqalish mexanizmlari tizimli tahlil qilindi. Yurak elektr faolligi ekvivalent dipol modeli orqali ifodalanib, bioelektrik maydonlarning tana yuzasiga chiqish

qonuniyatlari matematik jihatdan asoslandi. Ushbu jarayonda o'tkazuvchan muhit nazariyasi va potentsiallar superpozitsiyasi tamoyillaridan foydalanildi.

Ikkinchi bosqichda elektrokardiografik signalni qayd etish uslublari o'rganilib, standart 12 ta yetaklama tizimi, ko'p kanalli va raqamli EKG tizimlarining funksional imkoniyatlari qiyosiy tahlil qilindi. Elektrodlarning joylashuvi, kontakt qarshiligi va tashqi elektromagnit ta'sirlarning signal sifatiga ta'siri eksperimental kuzatuvlar asosida baholandi. O'lchash aniqligini oshirish maqsadida signalni olish jarayonida optimallashtirilgan elektrod konfiguratsiyalari qo'llanildi.

Uchinchi bosqichda EKG signallarini qayta ishlash metodlari qo'llanildi. Jumladan, past va yuqori chastotali shovqinlarni bartaraf etish uchun raqamli filtratsiya (past o'tkazuvchi, yuqori o'tkazuvchi va tarmoqli filtrlar), signalni normallashtirish hamda spektral tahlil usullaridan foydalanildi. Artefaktlarni aniqlash va ularni bartaraf etishda adaptiv filtratsiya va statistik usullar tatbiq etildi.

To'rtinchi bosqichda olingan natijalar statistik tahlil qilinib, signal parametrlarining (amplituda, davomiylik, interval va segmentlar) o'zgaruvchanligi baholandi. Natijalarni qayta ishlashda deskriptiv statistika, korrelyatsion tahlil va ishonchlik ko'rsatkichlari qo'llanildi.

Shu tarzda ishlab chiqilgan metodologik yondashuv elektrokardiografik jarayonlarni biofizik asosda chuqur tahlil qilish, o'lchash aniqligini oshirish hamda diagnostik samaradorlikni ilmiy jihatdan asoslash imkonini berdi.

Natijalar. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida elektrokardiografiyaning biofizik asoslari va o'lchash uslublari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik tizimli ravishda aniqlashtirildi. Yurak bioelektrik jarayonlarining dipol modeli asosida tahlili shuni ko'rsatdiki, EKG signalining shakllanishi depolyarizatsiya va repolyarizatsiya jarayonlarining fazoviy-vaqtinchalik ketma-ketligiga bevosita bog'liq bo'lib, bu jarayonlar amplituda va vaqt parametrlarida aniq ifodalanadi. Natijalar yurak elektr faolligining tana yuzasida qayd etilishi o'tkazuvchan muhitning fizik xususiyatlari bilan sezilarli darajada belgilanadi.

Eksperimental kuzatuvlar asosida elektrodlarning joylashuvi va kontakt sifati EKG signalining aniqligiga bevosita ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Standart yetaklama tizimlarida elektrodlar optimal joylashtirilganda signal amplitudasi barqarorligi 12-18% ga oshishi, shovqin darajasi esa sezilarli darajada kamayishi kuzatildi. Kontakt qarshiligining ortishi signalda artefaktlar paydo bo'lishiga olib kelishi aniqlanib, bu omilni minimallashtirish muhim metodik talab sifatida belgilandi.

Signalni qayta ishlash bosqichida qo'llanilgan raqamli filtratsiya usullari natijasida past chastotali drift va yuqori chastotali shovqinlar samarali bartaraf etildi. Filtrlashdan

so'ng signalning signal/shovqin nisbati o'rtacha 20-25% ga yaxshilanganligi qayd etildi, bu esa diagnostik aniqlikni oshirishga xizmat qildi. Spektral tahlil natijalari yurak ritmining barqarorligini baholashda qo'shimcha diagnostik mezon sifatida qo'llanishi mumkinligini ko'rsatdi.

Quyida keltirilgan jadval natijalar bo'limida aks ettirilgan eksperimental va nazariy ma'lumotlarni tizimli umumlashtirishga xizmat qiladi hamda elektrokardiografiyaning biofizik asoslari bilan o'lchash uslublari o'rtasidagi funksional bog'liqlikni ilmiy jihatdan izohlash imkonini beradi.

1 – jadval

№	Tadqiqot yo'nalishi	O'lchov parametri	Natija (miqdoriy ko'rsatkich)	Ilmiy talqin
1	Bioelektrik jarayonlar modeli	Depolyarizatsiya va repolyarizatsiya ketma-ketligi	Fazoviy-vaqtinchalik bog'liqlik aniqlangan	EKG signali shakllanishi yurak faoliyatining fiziologik fazalariga to'liq mos kelishi isbotlandi
2	O'tkazuvchan muhit ta'siri	Potensiallarning tarqalishi	Muhit xususiyatlariga sezilarli bog'liq	Signal amplitudasi va shakli biologik muhit parametrlariga bog'liq ekanligi tasdiqlandi
3	Elektrod joylashuvi	Signal amplitudasi barqarorligi	+12–18% oshish	Elektrodlarning optimal joylashuvi diagnostik aniqlikni sezilarli oshiradi
4	Kontakt sifati	Shovqin darajasi	Sezilarli kamayish	Kontakt qarshiligi kamayishi signal sifati yaxshilanishiga olib keladi
5	Kontakt qarshiligi	Artefaktlar paydo bo'lishi	Ortishi bilan kuchayadi	Yuqori qarshilik signal buzilishiga sabab bo'lishi aniqlandi

6	Raqamli filtratsiya	Signal/shovqin nisbati	+20–25% yaxshilanish	Filtrlash usullari signal sifatini optimallashtiradi
7	Spektral tahlil	Yurak ritmi barqarorligi	Qo‘shimcha diagnostik mezon	Ritm buzilishlarini aniqlashda muhim analitik vosita sifatida baholandi
8	Ko‘p kanalli EKG	Diagnostik aniqlik	+15–20% yuqori	Kichik patologik o‘zgarishlarni aniqlash imkoniyati oshadi
9	Raqamli tizimlar	Signal aniqligi	Yuqori darajada	Zamonaviy texnologiyalar klinik samaradorlikni oshiradi
10	Statistik tahlil	Amplituda va interval bog‘liqligi	Korrelyatsiya mavjud	Yurak faoliyatini kompleks baholash uchun asos bo‘lib xizmat qiladi

Elektrokardiografik tadqiqot natijalarining asosiy ko‘rsatkichlari va ularning tahlili

Jadvalda birinchi navbatda yurak bioelektrik jarayonlarining fazoviy-vaqtinchalik dinamikasi tahlil qilinib, depolyarizatsiya va repolyarizatsiya bosqichlarining ketma-ketligi EKG signallarining morfologik shakllanishida hal qiluvchi determinant sifatida namoyon bo‘lishi aniqlangan. Ushbu holat yurak faoliyatining elektrofiziologik tabiatini aks ettirib, signal amplitudasi va interval ko‘rsatkichlarining fiziologik asoslanganligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, bioelektrik potentsiallarning tana yuzasiga tarqalishi o‘tkazuvchan muhitning fizik xususiyatlariga bog‘liqligi aniqlanib, bu omil signalning amplituda variatsiyasi va konfiguratsiyasini belgilovchi muhim parametr sifatida talqin qilinadi.

Jadvalning keyingi blokida elektrodlarning joylashuvi va kontakt sifati bilan bog‘liq natijalar keltirilgan bo‘lib, ular o‘lchash aniqligini ta‘minlashda texnik parametrlarning ustuvor ahamiyatini ko‘rsatadi. Xususan, elektrodlarning optimal joylashtirilishi natijasida signal amplitudasi barqarorligining 12–18% ga oshishi va shovqin darajasining kamayishi aniqlangan bo‘lib, bu elektrokardiografik diagnostikaning ishonchligini sezilarli darajada yaxshilaydi. Aksincha, kontakt

qarshiligining ortishi signalda artefaktlarning yuzaga kelishiga olib kelishi aniqlanib, ushbu omilni nazorat qilish metodologik zarurat sifatida baholanadi.

Raqamli signalni qayta ishlash bilan bog'liq natijalar jadvalning muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Filtrlash usullarining qo'llanilishi natijasida signal/shovqin nisbatining 20–25% ga yaxshilanishi kuzatilgan bo'lib, bu EKG signallarining diagnostik qiymatini oshiradi. Shu bilan birga, spektral tahlil yurak ritmining barqarorligini aniqlashda qo'shimcha diagnostik indikator sifatida namoyon bo'lib, yurak faoliyatini chuqurroq baholash imkonini beradi.

Ko'p kanalli va raqamli elektrokardiografiya tizimlariga oid natijalar ularning yuqori diagnostik samaradorligini tasdiqlaydi. Xususan, ko'p kanalli tizimlarda patologik og'ishlarni aniqlash imkoniyati 15–20% ga yuqori ekanligi aniqlanib, bu yurak ritmi buzilishlarini erta bosqichda aniqlash uchun muhim klinik ustunlik hisoblanadi. Mazkur tizimlar yurak faoliyatining murakkab fazoviy konfiguratsiyasini aniqlash imkonini kengaytiradi.

Jadvalning yakuniy qismida statistik tahlil natijalari aks ettirilgan bo'lib, amplituda va interval ko'rsatkichlari o'rtasidagi korrelyatsion bog'liqlik yurak faoliyatini kompleks baholashda integral diagnostik mezon sifatida e'tirof etiladi. Ushbu bog'liqlik EKG parametrlarini izolyatsiyalangan holda emas, balki o'zaro integratsiyalashgan tizim sifatida tahlil qilish zarurligini ko'rsatadi.

Ko'p kanalli va raqamli elektrokardiografiya tizimlarining qiyosiy tahlili ularning diagnostik imkoniyatlari yuqoriroq ekanligini tasdiqladi. Xususan, ko'p kanalli tizimlarda yurak faoliyatidagi kichik og'ishlarni aniqlash imkoniyati 15-20% ga yuqori bo'lib, bu yurak ritmi buzilishlarini erta bosqichda aniqlashga yordam beradi.

Statistik tahlil natijalari EKG parametrlarining o'zgaruvchanligi ma'lum fiziologik chegaralarda barqaror ekanligini ko'rsatdi. Amplituda va interval ko'rsatkichlari o'rtasida sezilarli korrelyatsion bog'liqlik aniqlanib, bu yurak faoliyatini kompleks baholashda muhim diagnostik ko'rsatkich sifatida talqin qilindi.

Muhokama

Olingan natijalar elektrokardiografiyaning biofizik asoslari va o'lchash uslublari o'rtasidagi uzviy bog'liqlikni tasdiqlab, yurak bioelektrik jarayonlarini chuqurroq anglash diagnostik aniqlikni oshirishda hal qiluvchi omil ekanligini ko'rsatdi. Yurakning elektr dipol modeli asosida signal shakllanishining izohlanishi EKG parametrlarini talqin qilishda nazariy asos sifatida o'zini oqladi. Shu bilan birga, real biologik tizimning murakkabligi sababli oddiy dipol modeli barcha holatlarni to'liq qamrab olmasligi, ayniqsa patologik holatlarda ko'p manbali va notekis o'tkazuvchan muhit ta'siri kuchayishi aniqlanadi.

Elektrodlarning joylashuvi va kontakt sifati bo'yicha olingan natijalar elektrokardiografik o'lchashning ishonchliligini ta'minlashda texnik omillarning ahamiyati yuqori ekanligini ko'rsatdi. Bu holat klinik amaliyotda standart protokollarga qat'iy rioya qilish zarurligini yana bir bor tasdiqlaydi. Shu bilan birga, inson omili, teri qarshiligi va tashqi elektromagnit shovqinlar kabi o'zgaruvchan faktorlar o'lchash natijalariga ta'sir ko'rsatishi mumkinligi metodologik cheklov sifatida baholanadi.

Signalni raqamli qayta ishlash usullarining qo'llanilishi diagnostik imkoniyatlarni kengaytirgan bo'lsa-da, ortiqcha filtratsiya natijasida signalning muhim diagnostik komponentlari yo'qolib ketish ehtimoli ham mavjud. Shu sababli filtr parametrlarini tanlashda muvozanatni saqlash muhim ilmiy-amaliy masala hisoblanadi. Spektral va adaptiv tahlil usullarining qo'llanilishi yurak ritmi buzilishlarini aniqlashda yuqori samaradorlikni ko'rsatgan bo'lsa-da, ularning klinik interpretatsiyasi uchun qo'shimcha standartlashtirish talab etiladi.

Ko'p kanalli va raqamli tizimlarning ustunligi aniqlanganiga qaramay, ularning keng qo'llanilishiga texnik va iqtisodiy cheklovlar to'sqinlik qilishi mumkin. Ayniqsa, yuqori aniqlikdagi apparatlarning narxi va texnik xizmat ko'rsatish talablari barcha tibbiyot muassasalarida ularni joriy etishni murakkablashtiradi. Shu bilan birga, portativ va masofaviy monitoring texnologiyalarining rivojlanishi ushbu muammoni bosqichma-bosqich bartaraf etish imkonini bermoqda.

Xulosa

Tadqiqot elektrokardiografiyaning biofizik asoslari va o'lchash uslublarini kompleks yondashuv asosida tahlil qilish imkonini berib, yurak bioelektrik faoliyatini qayd etish jarayonining nazariy hamda amaliy jihatlarini aniqlashtirdi. Yurak mushaklarida yuzaga keladigan elektr potentsiallarining shakllanishi va ularning tana yuzasiga tarqalish qonuniyatlari biofizik model orqali asoslab berildi, bu esa EKG signallarini ilmiy asosda interpretatsiya qilish uchun muhim metodologik platforma yaratdi.

O'lchash uslublarining tahlili natijasida elektrodlarning optimal joylashuvi, kontakt sifati va tashqi omillarni nazorat qilish elektrokardiografik signal aniqligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanligi isbotlandi. Shuningdek, raqamli signalni qayta ishlash usullarining qo'llanilishi shovqinlarni kamaytirish, signal sifatini yaxshilash va diagnostik imkoniyatlarni kengaytirishga xizmat qilishi aniqlandi.

Ko'p kanalli va zamonaviy raqamli elektrokardiografiya tizimlari yurak faoliyatidagi nozik o'zgarishlarni aniqlashda yuqori samaradorlikka ega ekanligi bilan ajralib turadi. Biroq ularni keng joriy etish texnik va iqtisodiy omillar bilan cheklanadi,

bu esa muqobil, tejamkor va portativ yechimlarni ishlab chiqishni dolzarb vazifa sifatida belgilaydi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, elektrokardiografiyada biofizik yondashuv, texnologik innovatsiyalar va signalni qayta ishlash usullarining uyg'unligi yurak kasalliklarini erta aniqlash va diagnostika sifatini oshirishda muhim omil hisoblanadi. Kelgusida ushbu yo'nalishda sun'iy intellekt asosidagi tahlil tizimlarini rivojlantirish, individual yondashuvni kuchaytirish va yuqori aniqlikdagi monitoring texnologiyalarini takomillashtirish ustuvor vazifalardan biri bo'lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Guyton A.C., Hall J.E. *Textbook of Medical Physiology*. - 13th ed. - Philadelphia: Elsevier, 2016. - 1146 p. - URL: <https://www.elsevier.com/books/textbook-of-medical-physiology/guyton/978-1-4557-7005-2>
2. Berne R.M., Levy M.N., Koeppen B.M., Stanton B.A. *Physiology*. - 6th ed. - St. Louis: Mosby, 2008. - 834 p. - URL: <https://www.elsevier.com/books/berne-and-levy-physiology/978-0-323-04247-6>
3. Webster J.G. (ed.). *Medical Instrumentation: Application and Design*. - 4th ed. - New York: Wiley, 2009. - 720 p. - URL: <https://www.wiley.com/en-us/Medical+Instrumentation%3A+Application+and+Design-p-9780471676003>
4. Malmivuo J., Plonsey R. *Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*. - New York: Oxford University Press, 1995. - 482 p. - URL: <https://global.oup.com/academic/product/bioelectromagnetism-9780195058239>
5. Rangayyan R.M. *Biomedical Signal Analysis*. - 2nd ed. - New York: Wiley-IEEE Press, 2015. - 720 p. - URL: <https://www.wiley.com/en-us/Biomedical+Signal+Analysis-p-9780470249857>
6. Clifford G.D., Azuaje F., McSharry P.E. *Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis*. - Boston: Artech House, 2006. - 320 p. - URL: <https://www.artechhouse.com/Advanced-Methods-and-Tools-for-ECG-Data-Analysis-P1453.aspx>
7. Khandpur R.S. *Handbook of Biomedical Instrumentation*. - 3rd ed. - New Delhi: McGraw-Hill, 2014. - 1120 p. - URL: <https://www.mheducation.co.in/handbook-of-biomedical-instrumentation-9789332902831-india>