

## Krūvio metu užrašytų elektrokardiosignalų pradinis apdorojimas

V. Miškinis, A. Kirmonas

Kauno medicinos universiteto Kardiologijos institutas  
Sukilėlių pr. 17, LT-3007 Kaunas, Lietuva

### Ižanga

Kardiologijos praktikoje širdies funkcijos būsenai įvertinti naudojami įvairūs metodai, tarp jų ir toks plačiai paplitęs širdies funkcijos tyrimas, kai tiriamasis pacientas atlieka tam tikrą iš anksto dozuotą krūvį [1]. Apie krūvio poveikį paciento širdžiai paprastai yra sprendžiama iš elektrokardiosignalų (EKS) bangų parametrų bei širdies ritmo pokyčių dėl krūvio. Kadangi pastaruoju metu EKS analizei jau plačiai taikomi asmeniniai kompiuteriai (AK), tai tam, kad su AK būtų galima kuo tiksliau atpažinti EKS bangas ir išmatuoti EKS parametrus, būtina užtikrinti aukštą į AK įvedamų ir analizuojamų signalų kokybę.

### EKS trikdžiai krūvio mėginio atlikimo metu

Atliekant krūvio mėginius, į AK įvedamų EKS kokybė dažnai būna nepakankama dėl paciento judesių

sukelto EKS izoelektrinės linijos dreifo ir raumenų triukšmų (1 pav.). Be to, EKS gali būti užrašyti kartu su trikdžiu, kuris indukuojamas į paciento kūną iš patalpos 50 Hz kintamosios srovės tinklo. Šie visi trikdžiai bei triukšmai apsunkina atpažinti EKS bangas ir matuoti jų parametrus su AK. Taigi tokius EKS būtina apdoroti prieš tolesnę jų analizę su AK. Sakome apdoroti, nes klasikiniai filtrai per daug iškraipo elektrokardiosignalų QRS kompleksus bei kitas bangas. Iškraipymų esmę sudaro tai, kad trikdžių bei triukšmų dedamųjų dažnis sutampa su QRS komplekso dedamųjų dažniais. Pavyzdžiui, panaudojus žemųjų dažnių filtrą raumenų triukšmams pašalinti, bus nufiltruojamos ir QRS kompleksų aukštesniųjų dažnių dedamosios, o dėl to pailgės QRS trukmė. Panaši problema yra ir su EKS izoelektrinės linijos dreifo, kurio dažnių dedamosios sutampa su EKS P ir T bangų dedamųjų dažniais, pašalinimu.



1 pav. EKS kreivės krūvio mėginio atlikimo metu

Šiuo atveju panaudojus aukštųjų dažnių filtrą bus diferencijuojamos ne tik P bei T bangos, bet ir QRS kompleksai.

Indukuotajam trikdžiui iš 50 Hz kintamosios srovės tinklo pašalinti dažnai naudojami juostiniai užtvariniai filtrai [2]. Tačiau šiuo atveju atsiranda problema dėl filtrų impulsinės reakcijos savybių. Sužadintas palyginti didelės amplitudės QRS kompleksų filtras dar kurį laiką generuoja slopstantį išėjimo signalą. Šis signalas užveina ant už QRS komplekso esančio informatyvaus medicinine prasme ST segmento signalo. Kadangi ST segmento savoji įtampa kai kada sudaro tik dešimtis mikrovoltų, tai užtvarinio filtro pereinamojo proceso metu sukurtas signalas vėliau labai trukdo atlikti EKS kompiuterinę analizę. Be to, šioje zonoje taip pat detektuojami ir matuojami vadinamieji vėlyvieji skilvelių potencialai [3], kurie yra sukuriami esant tam tikroms žmogaus širdies patologijoms. Jų amplitudė tesiekia keletą mikrovoltų ar netgi jų dalis. Taigi užtvariniai filtrai ir šiuo atveju gerokai padidina vėlyvųjų potencialų atpažinimo bei matavimo paklaidas.

Visa tai akivaizdžiai rodo, kad prieš pradedant analizuoti krūvio mėginio metu užrašytus EKS reikia atlikti šių signalų pradinį apdorojimą siekiant pašalinti triukšmus bei trikdžius naudingajame signale, minimaliai iškraipant naudingąjį EKS.

### EKS izoelektrinės linijos dreifo pašalinimas

EKS izoelektrinės linijos dreifui pašalinti mūsų naudojamas toks būdas, kai iš užrašyto signalo individualiai kiekvienoje derivacijoje klasikiniai žemųjų dažnių filtrai yra išskiriama dreifo įtampos dedamoji. Ši dedamoji paskui atimama iš pradinio signalo ir taip yra gaunamas EKS be izoelektrinės linijos dreifo. Šio būdo teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai parodė, kad, išskiriant dreifo įtampos dedamąją, neigiamą poveikį turi didelės amplitudės EKS bangos ir ypač QRS kompleksas. Šiam poveikiui pašalinti pasinaudojome elektrokardiologijoje žinoma teorine prielaida, kad QRS komplekso pradžios bei pabaigos taškai yra izoelektrinėje linijoje. Tada pritaikėme QRS kompleksų pradinio atpažinimo mūsų sukurtą naują metodą, kuris nėra pakankamai tikslus, tačiau atsparus įvairiems trikdžiams ir todėl tinka apytikriai nustatyti QRS kompleksų ribas. Atpažinus QRS kompleksus, tarp jų pradžios ir pabaigos taškų brėžiama tiesi linija. Taip gautame signale jau nėra didelės amplitudės QRS kompleksų ir jie jau netrukdo išskirti izoelektrinės linijos dreifo signalą. Čia reikia pažymėti, kad kai kuriose EKS derivacijose ir T bangos turi gana didelę amplitudę ir todėl jos taip pat šiek tiek iškraipo išskiriamą izoelektrinės linijos dreifo signalą, nors gerokai mažiau negu QRS kompleksai. Taigi tokiais atvejais, matyt, tikslinga būtų apksimuoti tiesę ir didelės amplitudės T bangas.

### Raumenų triukšmų pašalinimas

Kaip jau minėjome, raumenų triukšmai iš į AK įvesto signalo yra efektyviai pašalinami klasikiniai žemųjų dažnių filtrai. Kad nepaveiktume QRS kompleksų filtruodami raumenų triukšmus, pasinaudojome tokia prielaida, kad šie triukšmai paprastai būna palyginti mažos

amplitudės. Dėl to jie mažai pastebimi QRS kompleksuose ir beveik netrukdo šiuos kompleksus analizuoti su AK. Taigi raumenų triukšmus iš įvesto į AK signalo reikia filtruoti visur, išskyrus QRS kompleksus. Tuo tikslu, taikant jau minėtą mūsų pasiūlytą naują pradinio atpažinimo metodą, atpažįstami QRS kompleksai ir jie nefiltruojami. Tuo tarpu likęs signalas yra filtruojamas, todėl iš įvesto į AK signalo yra pašalinami raumenų triukšmai, neiškraipant QRS kompleksų.

### 50 Hz trikdžio pašalinimas

50 Hz trikdžiui pašalinti pasinaudojome prielaida, kad šis trikdžius EKS užrašymo metu yra pastovios amplitudės, nekintančio dažnio bei pastovios fazės, taigi yra periodinis. Tada, pasinaudojant mūsų sukurtą metodiką [4], iš į AK įvestų signalų individualiai kiekvienoje derivacijoje išskiriamos 50 Hz trikdžio vieno periodo vidutinės atskaitos ir cikliškai atimamos iš pradinio signalo atskaitų ir taip gaunamas EKS be trikdžio.

Šio užtvarinio filtro dažninė charakteristika  $K(\omega)$  yra [4]:

$$K(\omega) = \sqrt{[A(\omega)]^2 + [B(\omega)]^2}; \quad (1)$$

čia

$$A(\omega) = \cos[0,5(M-1)N\omega T] - \frac{1}{M} \times \frac{\sin(0,5MN\omega T)}{\sin(0,5N\omega T)} + \frac{1}{MN} \times \frac{\sin(0,5MN\omega T)}{\sin(0,5\omega T)} \times \cos[0,5(N-1)\omega T]; \quad (2)$$

$$B(\omega) = \sin[0,5(M-1)N\omega T] - \frac{1}{MN} \times \frac{\sin(0,5MN\omega T)}{\sin(0,5\omega T)} \times \sin[0,5(N-1)\omega T]; \quad (3)$$

$\omega = 2\pi F$ ,  $F$  – dažnis, Hz,  $M$  – 50 Hz trikdžio periodų skaičius EKS derivacijoje,  $N$  – 50 Hz trikdžio vieno periodo atskaitų skaičius,  $T$  – EKS diskretizavimo periodas, s.

Kaip parodė šio filtro tyrimai [4], jo filtravimo dažnių juostos plotis neviršija 0,0482 Hz, o filtro sukurtam savųjų trikdžių santykinė amplitudė neviršija 0,04 %.

Tolesni tyrimai parodė, kad, formuojant 50 Hz trikdžio vieno periodo vidutinės atskaitas, filtro sukuriams trikdžiams atsirasti didžiausią įtaką turi QRS kompleksai. Tada filtro sukuriams trikdžiams sumažinti buvo nutarta 50 Hz trikdžio vieno periodo vidutinės atskaitas formuoti iš į AK įvesto signalo tų zonų, kurios yra tarp QRS kompleksų.

### Triukšmų bei trikdžių filtravimo ištyrimo rezultatai

2 pav. yra parodytos tos pačios kaip ir 1 pav. EKS derivacijos, iš kurių yra pašalinti raumenų triukšmai, izoelektrinės linijos dreifas bei 50 Hz trikdžius. Kaip matome 2 pav., sukuriosios metodikos gana gerai iš EKS pašalina triukšmus ir trikdžius, kurie yra užrašomi bei įvedami į AK krūvio mėginio atlikimo metu.

## Išvados

1. Išskiriant EKS izoelektrinės linijos dreifo signalą iš į AK įvesto signalo ir jį atimant iš šio pradinio signalo, galima efektyviai pašalinti EKS izoelektrinės linijos dreifą, kuris užrašomas kartu su EKS, pacientui atliekant krūvio mėginį.

2. Į AK įvestame signale QRS kompleksus pakeitus tiese, kuri jungia šių kompleksų pradžios bei pabaigos taškus, galima tiksliau išskirti dreifo įtampą.

3. Filtruojant raumenų triukšmus įvesto į AK signalo tarpuose tarp QRS kompleksų neiškraipoma šių kompleksų forma.

4. Formuojant 50 Hz trikdžio vieno periodo atskaitas įvesto į AK signalo tarpuose tarp QRS kompleksų galima sumažinti filtro sukuriamus savuosius trikdžius.



2 pav. EKS kreivės krūvio mėginio atlikimo metu po pradinio apdoravimo

## Literatūra

1. **Jaruševičius G., Vainoras A.** ST tarpo kitimo tyrimas fizinio krūvio mėginio metu 12-oje EKG derivacijų sveikiems ir išemine širdies liga sergantiems asmenims // Lithuanian Journal of Cardiology. – 1999. - Vol. 6, N 1. - P. 109 – 112.
2. **Кирмонас А. А., Астраускас А. А.** О выборе параметров фильтров сетевой наводки // Техника средств связи. Серия ОТ. – Москва. - 1985. - Вып. 3. - С. 22 – 28.
3. **Blužaitė I., Brazdžionytė J., Mickevičienė A. ir kt.** Vėlyvųjų skilvelių potencialų ir širdies dažnio variabiliškumo prognostinės reikšmės įvertinimas sergantiems miokardo

infarktu // Lithuanian Journal of Cardiology. – 1999. - Vol. 6, N 1. - P. 109 – 102.

4. **Kirmonas A., Miškinis V., Jurkonis V.** Adityviojo periodinio trukdžio filtravimas nuo diskretizuotų elektrokardiosignalų // Elektronika ir elektrotechnika. - 1999. - Nr. 1 (19). - P. 37 – 41.

Pateikta spaudai 2003 04 11

**V. Miškinis, A. Kirmonas. Krūvio metu užrašytų elektrokardiosignalų pradinis apdorojimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 4(46) – P. 26-29.**

Parodyta, kad krūvio mėginių atlikimo metu pagrindiniai naudingo signalo trikdžiai yra raumenų triukšmai, izoelektrinės linijos dreifas bei trikdys iš 50 Hz kintamosios srovės tinklo. Šie trikdžiai apsunkina signalų analizę asmeniniais kompiuteriais, todėl būtinas užrašyto ir į asmeninį kompiuterį įvesto signalo pradinis apdorojimas prieš atliekant jo išsamią analizę. Pasiūlytas efektyvus kompensacinis metodas elektrokardiosignalų izoelektrinės linijos dreifo įtampai išskirti ir jai pašalinti iš į asmeninį kompiuterį įvesto signalo. Kad būtų galima tiksliau išskirti dreifo įtampą, yra pasiūlyta į asmeninį kompiuterį įvestame signale QRS kompleksus pakeisti tiese, kuri jungia jų pradžios ir pabaigos taškus. Pateikta metodika, kaip pašalinti raumenų triukšmus, neiškraipant QRS kompleksų. Aprašytas patobulintas 50 Hz trikdžio kompensacinis filtras, kuris sukuria minimalius savuosius trikdžius. Pateikti elektrokardiosignalų užrašų pavyzdžiai prieš pradinį apdorojimą ir po jo. Il. 2, bibl. 4 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**V. Miškinis, A. Kirmonas. Preprocessing of Electrocardiosignals Registered During Exercise Tests // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2003. – No. 4(46) – P. 26-29.**

It is shown that during exercise tests the main artifacts and noises in electrocardiosignals are noises from patient's muscular, a drift of isoelectrical line and an interference from 50 Hz alternating current lines. In the presence of these artifacts it is difficult to obtain correct results during analysis of electrocardiosignals by means of personal computers. By that reason it is necessary to carry out preprocessing of signals inputted in to the computer with aim to remove artifacts before final analysis of signals. Effective method for removing of isoelectrical line drift is presented. By changing of QRS complexes with straight line joining its beginning and end points it is possible to increase precision when drift signal is being pick up. Method for filtration of patient's muscular noises without distortion of QRS form is proposed. Also improved method for removing of interference from 50 Hz alternating current lines is presented. Examples of electrocardiosignals before preprocessing and after it are presented. Ill. 2, bibl. 4 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

**В. Мишкинис, А. Кирмонас. Предварительная обработка электрокардиосигналов, зарегистрированных во время выполнения тестовой нагрузки // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2003. – № 4(46). – С. 26-29.**

Показано, что во время выполнения нагрузочных тестов основными помехами полезного сигнала являются шумы от мышц пациента, нестабильность изоэлектрической линии сигнала и наводка от сети переменного тока. Все эти помехи затрудняют анализ сигналов на персональных компьютерах и поэтому необходимо провести предварительную обработку введенных в компьютер сигналов перед выполнением их полного анализа. Представлен эффективный метод удаления дрейфа изоэлектрической линии электрокардиосигналов. Для увеличения точности формирования сигнала дрейфа предложено заменить комплексы QRS прямыми линиями, которые соединяют точки начала и конца этих комплексов. Описан метод фильтрации шумов от мышц пациента, при использовании которого неискажается форма комплексов QRS. Представлен улучшенный метод фильтрации наводки от сети переменного тока, который создает пониженный уровень собственных шумов. Представлены примеры записей введенных в компьютер электрокардиосигналов до выполнения предварительной обработки и после нее. Ил. 2, библи. 4 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.11260