

Obrada elektrogastrografskih signala snimljenih trokanalnim elektrogastrografom

Jelena Đorđević Kozarov
Katedra za merenja
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
kozarov@elfak.ni.ac.rs,
ORCID: [0000-0002-6941-4098](https://orcid.org/0000-0002-6941-4098)

Platon Sovilj
Katedra za električna merenja
Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u
Novom Sadu
Novi Sad, Srbija
platon@uns.ac.rs,
ORCID: [0000-0002-3274-9337](https://orcid.org/0000-0002-3274-9337)

Milica Stojanović
Katedra za merenja
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
milica.stojanovic@elfak.ni.ac.rs,
ORCID: [0009-0000-5528-3675](https://orcid.org/0009-0000-5528-3675)

Milan Simić
Katedra za merenja
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
milan.simic@elfak.ni.ac.rs,
ORCID: [0000-0003-2411-3571](https://orcid.org/0000-0003-2411-3571)

Marjan Urekar
Katedra za električna merenja
Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u
Novom Sadu
Novi Sad, Srbija
urekarm@uns.ac.rs,
ORCID: [0000-0002-6089-9148](https://orcid.org/0000-0002-6089-9148)

Milan Dinčić
Katedra za merenja
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
milan.dincic@elfak.ni.ac.rs,
ORCID: [0000-0001-7508-0277](https://orcid.org/0000-0001-7508-0277)

Dragan Živanović
Katedra za merenja
Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu
Niš, Srbija
dragan.zivanovic@elfak.ni.ac.rs,
ORCID: [0000-0002-9880-2305](https://orcid.org/0000-0002-9880-2305)

Abstract — Elektrogastrografija (EGG) je neinvazivna tehnika koja se koristi za snimanje električne aktivnosti želuca pomoću površinskih elektroda, postavljenih na kožu abdomena. EGG je jedna od metoda koja se može koristiti za dijagnostiku mioelektričnih abnormalnosti želuca. U ovom radu obrađeni su i analizirani, u vremenskom i frekventnom domenu, EGG signali snimljeni trokanalnim elektrogastrografom. Baza EGG signala preuzeta je iz postojeće literature.

Ključne reči — elektrogastrografija, mioelektrična aktivnost želuca, obrada signala, LabVIEW

I. UVOD

Elektrogastrografija (EGG) je neinvazivna metoda koja se koristi za snimanje mioelektrične aktivnosti želuca pomoću površinskih elektroda postavljenih na kožu abdomena u predelu želuca [1-5]. Ovu metodu je 1922. godine uveo Alvarez [6], ali je u poslednjih nekoliko decenija došlo do njenog velikog poboljšanja zahvaljujući razvoju opreme za snimanje i analizu EGG signala [7-11]. S obzirom da se za snimanje koriste površinske elektrode, EGG signali su veoma osetljivi na šumove kao što su respiratorni artefakti, električne smetnje od tankog creva, artefakti pokreta, elektrokardiogram, kao i interferencijski šum elektroda-koža [5]. Zbog svoje neinvazivne prirode, EGG nema kontraindikacije i može se koristiti za proučavanje različitih poremećaja koji su u vezi sa funkcijom želuca (mučnina, povraćanje, funkcionalna dispepsija, postoperativne tegobe, gastropareza, dijabetes, peptički ulkus, anoreksija, moždana smrt) [5, 11-16].

Iako je dosta osetljiva dijagnostička metoda, EGG može pružiti mnogo korisnih informacija i predstavlja izuzetan uvid u funkcionisanje čovekovog gastrointestinalnog sistema. Međutim, ova metoda nije široko prihvaćena u kliničkoj praksi. Glavni razlozi su nepostojanje standardnih preporuka za pozicioniranje elektroda, optimalan broj kanala i vreme snimanja

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije [broj ugovora 451-03-65/2024-03/200102]

[5, 17]. U cilju otkrivanja najbolje lokacije elektroda za jednokanalni EGG, u ovom radu su analizirani, u vremenskom i u frekventnom domenu, EGG signali snimljeni površinskim elektrodama postavljenim preko abdomena na tri anatomski različite lokacije [18, 19].

II. PARAMETRI EGG SIGNALA

Mioelektrična aktivnost želuca je zbir sporih talasa i akcionih (*spajk*) potencijala želuca [3]. Intersticijske ćelije Kajal (ICC), koje su ćelije želudačnog pejsmejkera, stvaraju spore talase. Spori talasi određuju maksimalnu frekvenciju i propagaciju želudačnih kontrakcija. Spori talasi koordiniraju akcione potencijale, koji proizvode mišićne kontrakcije i gastrične peristaltičke talase, što rezultira normalnim pražnjenjem želuca. Akcioni potencijali se smatraju električnim parom želudačnih kontrakcija, odnosno kontrakcija želuca nastaje kada je spori talas praćen akcionim potencijalima.

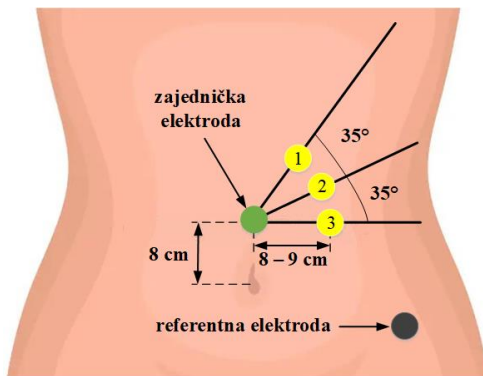
Glavna komponenta EGG signala je spori talas. Frekvencija normalnih sporih talasa u želucu iznosi približno 3 ciklusa u minuti (cpm) ili 0,05 Hz, dok je amplituda od 50 μ V do 500 μ V kod zdravih ispitanika [20]. Dominantna frekvencija EGG-a predstavlja frekvenciju sporog talasa želuca, dok dominantna snaga EGG-a odražava amplitudu i pravilnost želudačnih sporih talasa. Dominantna snaga je snaga na dominantnoj frekvenciji.

Položaj dominantne frekvencije (DF), izveden iz frekventnog spektra EGG-a, kreće se u opsegu 1-10 cpm u zdravoj populaciji. Postoje tri podopsega: bradigastrija (abnormalno sporo širenje talasa) 1-2 cpm, opseg normalne frekvencije gastričnog sporog talasa 2-4 cpm i tahigastrija (abnormalno povećanje brzine električne aktivnosti) 4-10 cpm [17]. Ukoliko se dominantna frekvencija ne može odrediti, u pitanju je želudačna aritmija. Bradigastrija i tahigastrija mogu biti povezani sa mučninom, gastroparezom, sindromom iritabilnog creva.

I pored toga što se eliminacija šuma iz EGG signala može postići pomoću naprednih tehnika obrade signala, analiza talasnog oblika EGG-a u vremenskom domenu se retko koristi. Prilikom jednokanalnog snimanja EGG-a moguće je meriti samo frekvenciju i amplitudu, dok se identifikacija širenja gastričnog sporog talasa ne može dobiti iz analize talasnog oblika u vremenskom domenu. Zbog toga se kvantitativne analize EGG signala uglavnom zasnivaju na metodama spektralne analize.

III. BAZA SNIMLJENIH EGG SIGNALA

Za istraživanje u ovom radu korišćeni su signali iz dostupne baze podataka [19]. Baza sadrži EGG signale za 20 ispitanika, snimljene trokanalnim elektrografom. Ispitanici su bili zdravi dobrovoljci (8 žena i 12 muškaraca), bez digestivnih poremećaja (mučnina, povraćanje ili bol u stomaku) i bez korišćenja lekova šest meseci pre snimanja. Za snimanje su korišćene standardne površinske elektrode, postavljene kao na Sl. 1.



Sl. 1 Postavljanje elektroda na površinu tela.

Zajednička elektroda je postavljena duž linije koja povezuje pupak i grudnu kost, na 8 cm iznad pupka. Elektroda 1 (za kanal 1) postavljena je iznad male krivine želuca, dok je elektroda 3 (za kanal 3) postavljena tačno iznad veće krivine želuca.

Elektroda 2 (za kanal 2) postavljena je između elektroda 1 i 3, na podjednako udaljenosti od obe.

Za svakog ispitanika snimljena su po dva EGG-a. Prvi EGG signal (*signal posta*) snimljen je nakon perioda gladovanja od šest sati, bez unosa tečnosti u poslednja dva sata (uključujući i vodu). U drugom koraku, ispitanici su uzimali test obrok (od 304 kcal), nakon čega je zabeležen drugi signal (*postprandijalni signal*). Svako snimanje je trajalo po 20 minuta, odnosno 1200 sekundi. Signali su pojačani 1000 puta i filtrirani kako bi se eliminali artefakti pokreta, disanja i rada srca. Frekvencija uzorkovanja je 2 Hz, tako da je broj ukupan broj uzoraka po kanalu 2400, odnosno 7200 uzoraka ukupno.

IV. PRIKAZ I ANALIZA SIGNALA

Kako je u [18] pokazano da su jednokanalni EGG snimci dovoljni za adekvatnu procenu mioelektrične aktivnosti želuca, cilj ovog istraživanja je da se na osnovu analize signala, u vremenskom i frekventnom domenu, otkrije najpogodnija lokacija EGG elektrode za procenu DF. Zbog sličnosti među zdravim ispitanicima, odnosno snimljenim signalima, za analizu su uzeti signali jednog ispitanika, ženskog pola.

A. Vremenski domen

Za obradu signala u vremenskom domenu korišćen je program *LabVIEW*. Na Sl. 2 prikazana su sva tri EGG signala snimljena pre unosa hrane - signali posta. Može se uočiti da nema većih odstupanja i da sva tri kanala daju slične rezultate. Kod signala sa elektrode 2, na samom početku snimanja pojavljuju se atipični negativni pikovi, koji mogu biti posledica artefakta pomeraja ili lošeg prijanjanja elektrode na kožu ispitanika.

Na Sl. 3 prikazani su EGG signali koji su snimljeni nakon unosa test obroka - postprandijalni signali. Vidi se da su pikovi učestaliji, što je posledica povećanog broja kontrakcija želuca. Takođe, može se uočiti da prva dva kanala daju slične rezultate, dok signal sa elektrode 3 značajno odstupa.



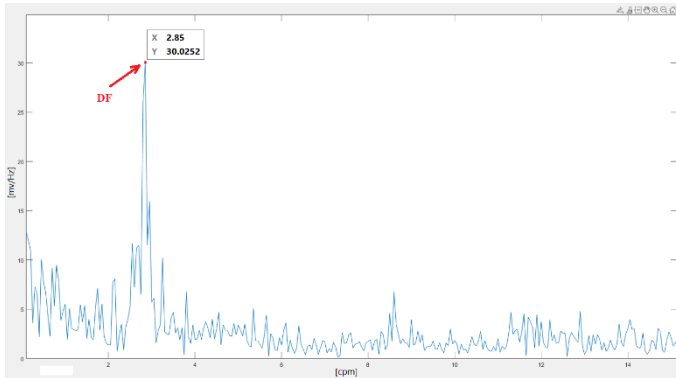
Sl. 2 Prikaz sva tri EGG signala *pre* unosa hrane – vremenski domen.



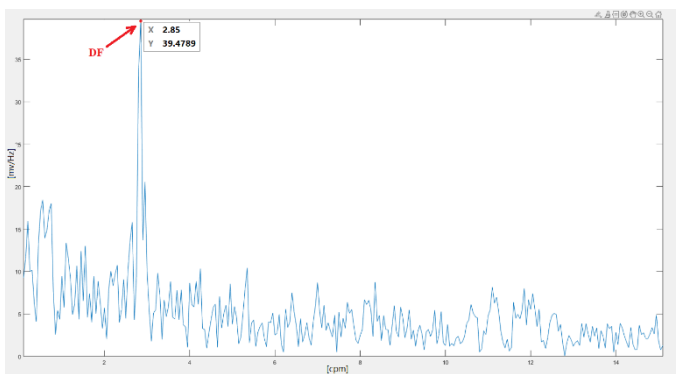
Sl. 3 Prikaz sva tri EGG signala *posle* unosa hrane – vremenski domen.

B. Frekventni domen

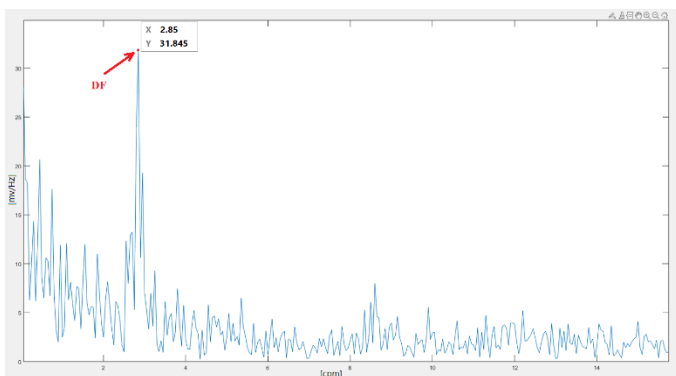
Brza Furijeova transformacija je primenjena za generisanje spektra i za određivanje DF za svaki od snimaka EGG signala. DF je definisana kao frekvencija za koju je spektar imao maksimalnu magnitudu (Sl. 4 – Sl. 9). Može se uočiti da DF pre obroka iznosi 2,85 cpm (vidi Sl. 4, Sl. 5 i Sl. 6), dok je nakon obroka 3,05 cpm (vidi Sl. 7, Sl. 8 i Sl. 9).



Sl. 4 Spektralni graf EGG signala izveden iz 20-minutnog snimka pre jela, sa označenom dominantnom frekvencijom – DF (elektroda 1).



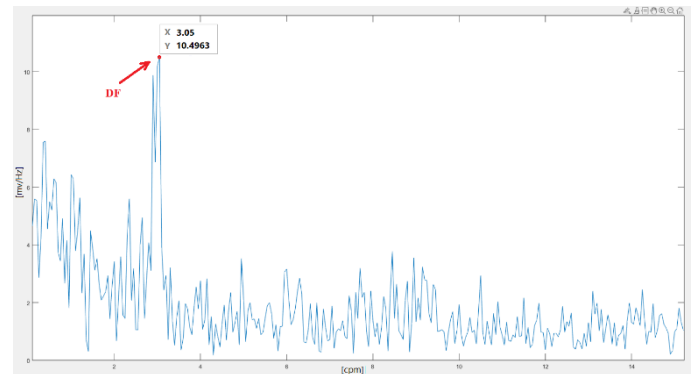
Sl. 5 Spektralni graf EGG signala izveden iz 20-minutnog snimka pre jela, sa označenom dominantnom frekvencijom – DF (elektroda 2).



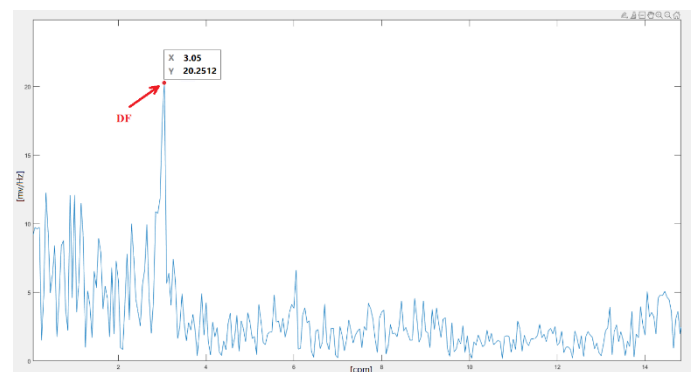
Sl. 6 Spektralni graf EGG signala izveden iz 20-minutnog snimka pre jela, sa označenom dominantnom frekvencijom – DF (elektroda 3).

Srednje vrednosti sa standardnim devijacijama DF za signale posta i postprandijalne signale izračunate su za svaki kanal posebno. Nakon toga, srednje vrednosti DF nakon obroka i pre obroka su upoređene za svaki kanal da bi se utvrdila razlika u DF nakon uzimanja obroka. Da bi se utvrdio statistički značaj rezultata u pogledu razlike između DF pre obroka i postprandijalne DF, primenjen je *t*-test uparenog uzorka na parove tih vrednosti za svaki kanal.

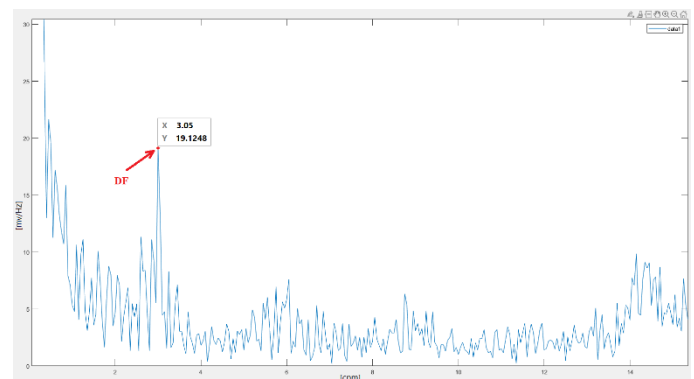
Za sva tri kanala DF je bila statistički značajno veća za postprandijalne elektrogastrograme. Rezultati su imali *p*-vrednosti manje od 0,005 (za kanal 1 i 3) i manje od 0,001 (za kanal 2). Za ovaj deo analize korišćen je *t*-test *Matlab* funkcije.



Sl. 7 Spektralni graf EGG signala izveden iz 20-minutnog snimka posle jela, sa označenom dominantnom frekvencijom – DF (elektroda 1).



Sl. 8 Spektralni graf EGG signala izveden iz 20-minutnog snimka posle jela, sa označenom dominantnom frekvencijom – DF (elektroda 2).



Sl. 9 Spektralni graf EGG signala izveden iz 20-minutnog snimka posle jela, sa označenom dominantnom frekvencijom – DF (elektroda 3).

Dominantna frekvencija određuje maksimalnu učestanost kontrakcija želuca, pa tako veća postprandijalna DF pokazuje da su češće kontrakcije želuca nakon uzimanja obroka.

V. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati pokazuju da je postprandijalna DF povećana u poređenju sa DF pre uzimanja obroka. Samim tim, u pogledu zadovoljavajuće statističke značajnosti, bilo koji od tri položaja elektroda bio bi povoljan za snimanje EGG-a jednokanalnim elektrogastrografom. Međutim, razlika između

srednjih vrednosti DF pre obroka i postprandijalne DF za elektrodu 2 je veća od razlika dobijenih za elektrode 1 i 3. Takođe, odgovarajuće *p*-vrednosti za elektrode 1 i 3 bile su veće nego za elektrodu 2, ali i dalje ispod 0,05, što potvrđuje njihovu statističku značajnost. Razlog tome može biti što se elektroda 1 nalazi u predelu manje zakrivljenosti želuca, a i blizina grudne kosti može dovesti do povećanog artefakta disanja i EKG artefakata.

Za elektrodu 3 veće *p*-vrednosti mogu biti posledica postavljanja elektrode iznad donjeg dela želuca gde može doći do povećane interferencije sa električnom aktivnošću tankog creva (10–12 cpm). Najniža *p*-vrednost ($7,82 \times 10^{-6}$) dobijena za lokaciju elektrode 2 može implicirati da bi to mogao biti najpogodniji položaj za postavljanje elektrode u slučaju jednokanalnog elektrogastrografa.

Dobijeni rezultati sugerišu da je najpogodnija lokacija EGG elektrode za procenu DF lokacija elektrode 2. Ovaj zaključak potkrepljuje i činjenica da je elektroda 2 postavljena u blizini želudačnog pejsmejkera, gde su smanjeni uticaji artefakata disanja i EKG-a, kao i artefakti tankog creva.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] D. Z. Chen and Z. Lin, "Electrogastrogram," in *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*, Second edition, vol. 3, pp. 83–98, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [2] K. L. Koch, R. M. Stern, *Handbook of Electrogastrography*, Oxford University Press, New York, 2004.
- [3] J. Yin, J. D. Z. Chen, "Electrogastrography: Methodology, Validation and Applications", *J Neurogastroenterol Motil*, vol. 19, no. 1, pp. 5-17, 2013.
- [4] F. Y. Chang, "Electrogastrography: Basic knowledge, recording, processing and its clinical applications", *J Gastroenterol Hepatol*, vol. 20, pp. 502-516, 2005.
- [5] H. Murakami, H. Matsumoto, D. Ueno, A. Kawai, T. Ensako, Y. Kaida, et al, "Current status of multichannel electrogastrography and examples of its use", *J Smooth Muscle Res*, vol. 49, pp. 78–88, 2013.
- [6] W. C. Alvarez, "The electrogastrogram and what it shows", *JAMA*, vol. 78, pp. 1116–1118, 1922.
- [7] L.K. Stevens, N. Worrall, "External recording of gastric activity: the electrogastrogram", *Physiol Psychol*, vol. 2, pp. 175–180, 1974.
- [8] B.H. Brown, R.H. Smallwood, H.L. Duthie, C.J. Stoddard, "Intestinal smooth muscle electrical potentials recorded from surface electrodes", *Med Biol Eng Comput*, vol. 13, pp. 97–102, 1975.
- [9] R.H. Smallwood, "Analysis of gastric electrical signals from surface electrodes using phase-lock techniques", *Med Biol Eng Comput*, vol. 16, pp. 507–518, 1978.
- [10] D.A. Linkens, S.P. Datarina, "Estimations of frequencies of gastrointestinal electrical rhythms using autoregressive modeling", *Med Biol Eng Comput*, vol. 16, pp. 262–268, 1978.
- [11] Verhagen MAMT, Vanshelven LJ, Samsom M, Smout AJPM. Pitfalls in the analysis of electrogastrographic recordings. *Gastroenterol* 1999;117:453–60.
- [12] H.P. Parkman, W.L. Hasler, J.L. Barnett, E.Y. Eaker, *Electrogastrography: a document prepared by the gastric section of the American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force*, *Neurogastroenterol Motil*, vol. 15, pp. 89–102, 2003.
- [13] C.P. Sanmiguel, M.P. Mintchev, K.L. Bowes, "Electrogastrography: a noninvasive technique to evaluate gastric electrical activity", *Can J Gastroenterol*, vol. 12, pp. 423–30, 1998.
- [14] C. Bor, D. Bordin, K. Demirag, M. Uyar, "The effect of brain death and coma on gastric myoelectrical activity", *Turk J Gastroenterol*, vol. 27, pp. 216–20, 2016.
- [15] K. Jonderenko K, Kasicka JA, Krusiec SB, Dzielicki M, Strój L, Dolinski M, et al. How reproducible is cutaneous electrogastrography? An in-depth evidence-based study. *J Neurogastroenterol Motil*, vol. 17, pp. 800–809, 2005.
- [16] S. Calder, L.K. Cheng, P. Du, "A theoretical analysis of electrogastrogram (EGG)", *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, vol. 36, pp. 4330–3, 2014.
- [17] G. Riezzo, F. Russo, F. Indrio, "Electrogastrography in adults and children: the strength, pitfalls, and clinical significance of the cutaneous recording of the gastric electrical activity", *BioMed Res Int*, vol. 2013, pp. 1–14, 2013.
- [18] N. Popović, N. Miljković, and M. Popović, "Simple gastric motility assessment method with a single-channel electrogastrogram", *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik*, vol. 64, no. (2), pp.177-185, 2019, doi: [10.1515/bmt-2017-0218](https://doi.org/10.1515/bmt-2017-0218).
- [19] N. Popović, N. Miljković, and M. Popović, "Three-channel Surface Electrogastrogram (EGG) Dataset Recorded During Fasting and Postprandial States in 20 Healthy Individuals". Zenodo, June 5, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3878435>.
- [20] N. Wolpert, I. Rebollo, C. Tallon-Baudry, "Electrogastrography for psychophysiological research: Practical considerations, analysis pipeline, and normative data in a large sample", *Psychophysiology*, vol. 57, no. 9, 2020, doi: [10.1111/psyp.13599](https://doi.org/10.1111/psyp.13599).

ABSTRACT

Electrogastrography (EGG) is a non-invasive technique used to record the electrical activity of the stomach using surface electrodes placed on the abdominal skin. EGG is one of the methods that can be used to diagnose gastric myoelectric abnormalities. In this work, the EGG signals recorded with a three-channel electrogastrogram were processed and analyzed in the time and frequency domain. The database of EGG signals was taken from existing literature.

PROCESSING OF THE ELECTROGASTROGRAPHIC SIGNALS RECORDED BY THREE-CHANNEL ELECTROGASTROGRAM

Jelena Đorđević Kozarov, Platon Sovilj, Milica Stojanović, Milan Simić, Marjan Urekar, Milan Dinčić, Dragan Živanović