

Pregled elektrogastrografske metode

Jelena Đorđević Kozarov, Platon Sovilj, *Member, IEEE*, Marjan Urekar, *Member, IEEE*,
Milan Šaš i Miroljub Pešić

Apstrakt — Elektrogastrografija (EGG) je neinvazivna elektrofiziološka tehnika koja se koristi za snimanje električne aktivnosti želuca pomoću elektroda postavljenih na abdomen. EGG se do sada najviše koristio u kliničkim studijama i dijagnostici u gastroenterologiji, ali se sve više javlja interesovanje za naučno istraživanje EGG metode u oblasti biomedicine i psihofiziologije. Cilj ovog rada je da se, na osnovu postojeće literature, prikažu osnovne fiziološke karakteristike EGG signala, kao i mogući načini snimanja i obrade ovih signala.

Ključne reči — Elektrogastrografija; Gastrični spori talasi; Gastrointestinalni motilitet; Mioelektričnost.

I. UVOD

ELEKTROGASTROGRAFIJA je neinvazivna tehnika za snimanje mioelektrične aktivnosti želuca pomoću površinskih elektroda postavljenih na abdominalnu kožu u predelu želuca. Signal snimljen elektrogastrografijom naziva se elektrogastrogram (EGG) [1-5]. Tokom prve polovine dvadesetog veka, elektrogastrogram (EGG) su nezavisno otkrila tri naučnika: Valter Alvarez (gastroenterolog, 1922) [6,7], Harison Tumpeer (pedijatar, 1926, 1932) [7-9] i R.C. Davis (psihofiziolog, 1950) [10,11]. Počevši od 1974. godine, kada su istraživači Stevens i Vorrall (1974) prvi primenili tehniku spektralne analize na EGG [12], a potom 1975. istraživači u Engleskoj objavili brojne studije o frekvencijskoj analizi EGG signala, došlo je do velikog napretka u tehnikama analize EGG signala [13-15].

Zbog svoje neinvazivne prirode i sve većeg napretka tehnike snimanja EGG-a, kao i moguće računarske analize snimljenog signala, EGG je postao veoma atraktivan alat za proučavanje elektrofiziologije želuca i patofiziologije poremećaja motiliteta želuca, pa se trenutno koristi i u naučnim i u kliničkim istraživanjima [16-19].

Da bi se procenilo da li je EGG signal koristan kao istraživačko i/ili kliničko sredstvo, najpre treba u potpunosti razumeti šta se može meriti pomoću EGG-a i kako bi EGG trebalo da bude snimljen, interpretiran i analiziran. U tu svrhu, u ovom radu je najpre opisana elektrofiziologija želuca, odnosno mioelektrična aktivnost želuca koja se može meriti korišćenjem površinskih elektroda, a potom su opisani i karakteristični parametri EGG signala. S obzirom da se za

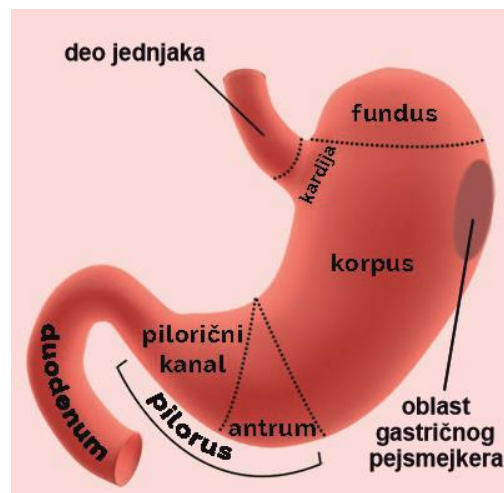
snimanje EGG signala koriste površinske elektrode, EGG signal je osetljiv na artefakte pokreta, kao i na električne signale drugih unutrašnjih organa, te su u ovom radu opisani tehnički detalji pravilnog merenja EGG signala u cilju sprečavanja artefakata. Na kraju rada je dat pregled primene EGG-a, uključujući primenu EGG-a za proučavanje elektrofiziologije želuca, upotrebu EGG-a u proceni efekta intervencije i klinički značaj EGG-a kod pacijenata sa simptomima koji ukazuju na želudačnu disfunkciju.

II. ELEKTROFIZIOLOGIJA ŽELUCA

EGG se definiše kao snimanje mioelektrične aktivnosti glatkih mišića želuca pomoću elektroda pričvršćenih na kožu abdomena. EGG predstavlja bezbolan test kojim se određuje električna aktivnost u stomaku, pre, tokom i posle jela.

Radi lakšeg razumevanja rada želuca, na Sl. 1 su prikazani njegovi delovi:

- fundus je rezervoar za hranu,
- korpus - proizvodi se enzim pepsin,
- gastrični pejsmejker se nalazi na velikoj krivini korpusa i generiše električne impulse,
- antrum - proizvodi se hormon gastrin i tu se vrši mešanje i mlevenje hrane,
- pilorus je ventil između želuca i dvanaestopalačnog creva.



Sl. 1. Delovi želuca.

Gastrični pejsmejker generiše električni signal svakih 20 s, koji se širi ka antrumu, i kao odgovor na kalorijski izazov ili lek, stvara snažne peristaltičke kontrakcije koje guraju antralni sadržaj ka pilorusu i pomažu u mlevenju i mešanju hrane.

Jelena Đorđević Kozarov – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, A. Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: kozarov@elfak.ni.ac.rs).

Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: platon@uns.ac.rs).

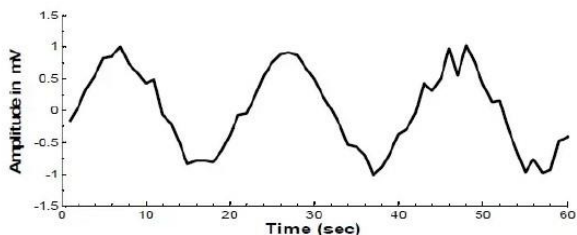
Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs).

Milan Šaš – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: milansas@uns.ac.rs).

Miroljub Pešić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: miroljub.pesic@elfak.ni.ac.rs)

A. Normalna mioelektrična aktivnost želuca

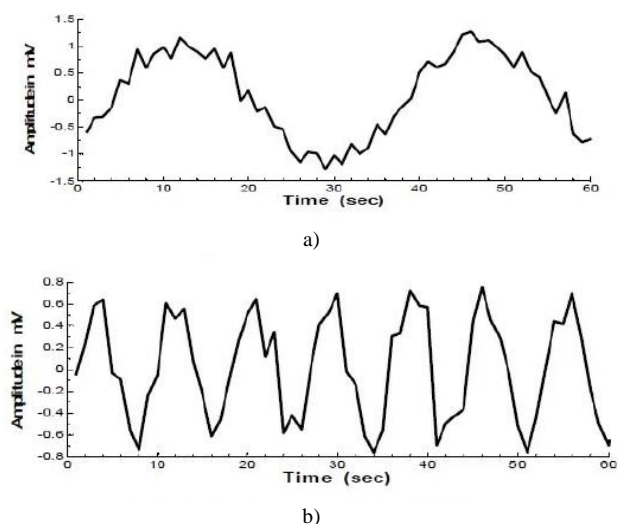
Mioelektrična aktivnost želuca sastoji se od sporih talasa i šiljastih (spajk) potencijala (Sl. 2) [3]. Spori talas se još naziva i aktivnost električne kontrole, dok se šiljasti potencijali nazivaju akcioni potencijali [20,21]. Frekvencija normalnih sporih talasa u želucu iznosi približno 3 ciklusa u minuti (cpm) kod ljudi [22-24] i 5 cpm kod pasa [25,26], dok je amplituda od 50 μ V do 500 μ V. Gastrični spori talas određuje maksimalnu frekvenciju i propagaciju želudačnih kontrakcija. Šiljasti potencijali se smatraju električnim parom želudačnih kontrakcija, odnosno kontrakcija želuca nastaje kada je spori talas praćen šiljastim potencijalima.



Sl. 2. Normalna mioelektrična aktivnost želuca.

B. Gastrična aritmija i abnormalni spori talasi

Mioelektrična aktivnost želuca može se promeniti ili postati abnormalna u bolesnim stanjima ili nakon operativnih zahvata ili spontano. Abnormalna mioelektrična aktivnost želuca uključuje želudačnu aritmiju, abnormalno sporo širenje talasa (bradigastrija) i abnormalno povećanje brzine električne aktivnosti (tahigastrija). Normalna frekvencija gastričnog sporog talasa kod ljudi je oko 2-4 cpm, dok je bradigastrija u opsegu 0.5-2.0 cpm, a tahigastrija u opsegu 4-9 cpm. Ukoliko se dominantna frekvencija ne može odrediti, u pitanju je želudačna aritmija. Bradigastrija i tahigastrija mogu biti povezani sa mučninom, gastroparezom, sindromom iritabilnog creva.



Sl. 3. Abnormalna mioelektrična aktivnost želuca: a) bradigastrija, b) tahigastrija.

III. MERENJE ELEKTROGASTROGRAMA

Mioelektrična aktivnost želuca se može meriti:

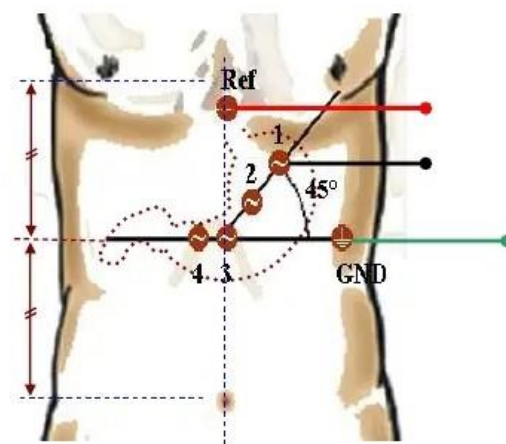
- serozno (elektrode na seroznoj površini želuca se postavljaju hirurški),
- intraluminalno (intubacija katetera sa elektrodama za snimanje želuca), ili
- na površini kože (pomoću površinskih elektroda).

Prve dve metode su invazivne i njihove primene su ograničene uglavnom na životinje i izvode se u laboratorijskim uslovima [1]. EGG metoda (merenje aktivnosti želuca pomoću površinskih elektroda) ima široku primenu kod ljudi i u kliničkim istraživanjima jer je neinvazivna i ne remeti tekuću aktivnost želuca. Brojne studije validacije su dokumentovale tačnost EGG metode upoređujući je sa snimkom dobijenim sa mukoznih i seroznih elektroda [15,1]. Pokazano je da se zapis EGG-a može ponoviti, bez značajnih dnevnih varijacija [27], a utvrđeno je i da kod odraslih, starost i pol nemaju nikakav uticaj na EGG [28,29].

Zbog prirode merenja, EGG je osetljiv na artefakte pokreta. Shodno tome, pažljiva i pravilna priprema pre snimanja je ključna za dobijanje pouzdanih podataka.

Priprema kože - S obzirom da su EGG signali veoma slabi, vrlo je važno minimizirati impedansu između kože i elektroda, pa je neophodno dobro očistiti abdominalnu površinu na koju će se postaviti elektrode. EGG može sadržati ozbiljne artefakte pokreta ako koža nije dobro pripremljena.

Postavljanje elektroda - Standardne elektrokardiografske elektrode se obično koriste za snimanje EGG. Iako ne postoji utvrđen standard, opšte je prihvaćeno da aktivne elektrode za snimanje treba da budu postavljene što bliže antrumu da bi se postigao visok odnos signal-šum [30]. EGG signali se mogu snimiti bilo unipolarnim ili bipolarnim elektrodama, ali bipolarno snimanje daje signale sa većim odnosom signal-šum. Jedna najčešće korišćena konfiguracija elektroda za snimanje četvorokanalnih EGG zapisa je prikazana na Sl. 4.



Sl. 4. Primer postavljanja elektroda za merenje EGG signala.

Pozicioniranje ispitanika - Ispitanik treba da bude u udobnom ležećem položaju ili da sedi u fotelji, u tihoj prostoriji, tokom čitave procedure snimanja. Kad god je to

moгуće, preporučuje se ležeci položaj, jer je ispitanik u ovom položaju opušteniji, a samim tim se pojavljuje manje artefakata pokreta. Ispitanik bi trebalo da ostane što je moguće mirniji i da ne učestvuje u razgovorima, kako bi se maksimalno sprečili artefakti pokreta [19,1].

Dužina snimanja i test obrok - Snimanje EGG-a se obično vrši nakon gladovanja od 6 ili više sati. Lekove koji mogu da modifikuju mioelektričnu aktivnost želuca treba prekinuti najmanje 48 sati pre testa [18,19]. EGG treba snimati najmanje 30 minuta (ne <15 min u svakom slučaju) u stanju gladovanja i najmanje 30 minuta u stanju jedenja. Test obrok treba da sadrži najmanje 250 kcal bez mnogo masti [31]. Obično se preporučuju čvrsti obroci, mada se u nekim istraživanjima koristila voda kao test obrok.

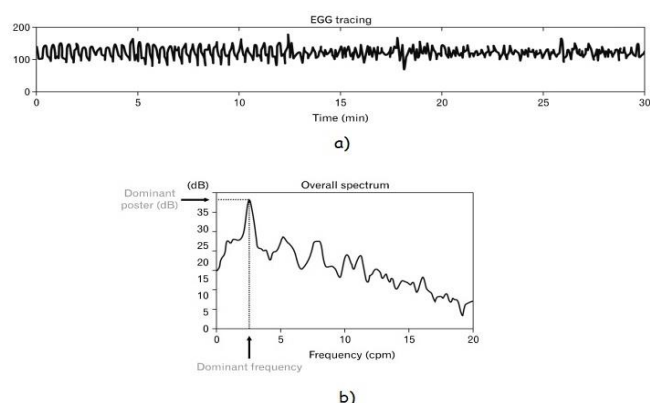
IV. PARAMETRI EGG

I pored toga što se eliminacija šuma iz EGG signala može postići pomoću naprednih tehnika obrade signala [1,32], analiza talasnog oblika EGG-a u vremenskom domenu se retko koristi. Talasni oblik EGG-a je povezan sa mnogim faktorima, kao što su debljina trbušnog zida ispitanika, priprema kože, položaj elektroda i karakteristike uređaja za snimanje [33].

Broj specifičnih karakteristika EGG-a je ograničen, pa se kod jednokanalnog snimanja EGG mogu meriti samo frekvencija i amplituda. Nedavne kompjuterske simulacije i eksperimenti pokazali su da se širenje gastričnog sporog talasa može identifikovati uz pomoć višekanalnih snimaka EGG [33], ali je teško dobiti ove informacije iz analize talasnog oblika u vremenskom domenu [32]. Shodno tome, kvantitativne analize podataka EGG-a se uglavnom zasnivaju na metodama spektralne analize.

Frekvencija za koju se veruje da je želudačnog porekla i na kojoj snaga u EGG spektru snage ima vršnu vrednost u opsegu od 0.5–9.0 cpm naziva se *EGG dominantna frekvencija*. *Dominantna snaga* je snaga na dominantnoj frekvenciji. Snaga EGG može biti predstavljena u linearnim jedinicama ili u decibelima (dB). Dominantna frekvencija i snaga EGG-a se često jednostavnije nazivaju kao EGG frekvencija i snaga EGG-a. Sl. 5 prikazuje definiciju dominantne frekvencije i snage EGG. Simultani kožni i serozni [9,13-15] ili mukozni [7,12] snimci aktivnosti želuca pokazali su da dominantna frekvencija EGG-a predstavlja frekvenciju sporog talasa želuca. Dominantna snaga EGG-a odražava amplitudu i pravilnost želudačnih sporih talasa.

Gastrični spori talas se smatra abnormalnim ako dominantna frekvencija EGG-a nije unutar određenog frekventnog opsega (npr. 2-4 cpm). Iako ne postoji utvrđena definicija normalnog opsega gastričnog sporog talasa, opšte je prihvaćeno da je dominantna frekvencija EGG-a kod asimptomatskih normalnih subjekata između 2 cpm i 4 cpm [17,18,22,34]. EGG, ili segment EGG-a, definiše se kao tahigastrija ako je njegova frekvencija > 4 cpm, ali < 9 cpm, bradigastrija ako je frekvencija < 2 cpm i aritmija ako postoji nedostatak dominantne frekvencije (videti Tabelu I).



Sl. 5. Analiza spectra EGG: a) Zapis EGG u trajanju od 30 minuta, b) Spekter snage 30-minutnih EGG podataka. Dominantna frekvencija EGG-a (DF) i snaga na DF se mogu odrediti iz spectra [3].

TABELA I
PARAMETRI EGG-A

| | Komponenta | Frekvencija (cpm) |
|---------------|----------------------|----------------------|
| Signal | Normalni spori talas | 2–4 |
| | Bradigastrija | 0.5–2 |
| | Tahigastrija | 4–9 |
| Šum | Respiratorni | 12–24 |
| | Tanko crevo | 9–12 |
| | EKG | 60–80 |
| | Artefakti pokreta | Ceo interval merenja |

V. PRIMENA EGG

EGG ima značajnu primenu u sledećim oblastima:

- (1) elektrofiziološke studije,
- (2) procena efikasnosti intervencije ili terapije, i
- (3) otkrivanje abnormalnosti sporog talasa kod pacijenata sa poremećajem želudačnog motiliteta ili sumnja na poremećaj motiliteta želuca.

Navešćemo neke od primena u pomenutim oblastima.

Elektrofiziološke studije - za proučavanje elektrofiziologije želuca jer je neinvazivna metoda i ne prekida tekući proces u želucu. Jedna od takvih primena je proučavanje razvojnog procesa želudačnih sporih talasa kod novorođenčadi [35]. Progresivno povećanje procenta normalnih gastričnih sporih talasa zabeleženo je tokom prvih 6 meseci nakon rođenja kod 19 nedonoščadi.

Procena efikasnosti intervencije ili terapije - Na spore talase u želucu mogu uticati različite intervencije, stres i farmakološke terapije. EGG se često koristi u proceni efekta stresa i efikasnosti farmakoloških terapija i intervencija.

Otkrivanje abnormalnosti sporog talasa - EGG se koristi kada se sumnja da pacijent ima poremećaj motiliteta, što se može pokazati kao ponavljajuća mučnina i povraćanje, a to su znaci da želudac ne prazni hranu normalno.

Klinička primena elektrogastrografije najšire je procenjivana kod bolesnika s gastroparezom i funkcionalnom dispepsijom.

VI. ZAKLJUČAK

EGG je neinvazivna procedura za pouzdano merenje sporih talasa u želucu i kontraktilne aktivnosti želuca. Iako je dosta osetljiva dijagnostička metoda, EGG predstavlja izuzetan uvid u funkcionisanje čovekovog gastrointestinalnog sistema.

Međutim, EGG pruža klinički, fiziološki i/ili patofiziološki značajne informacije samo kada se pravilno snima, analizira i tumači. Snimanje i analiza EGG-a još uvek nisu u potpunosti standardizovani. Kao što je u radu opisano, snimanje EGG-a treba izvoditi vrlo oprezno da bi se minimizirali mogući artefakti.

Budući razvoj EGG metodologije bi pre svega trebalo da se fokusira na definisanje i postavljanje preciznih standarda za snimanje i analizu karakterističnih parametara EGG-a, kako bi se omogućilo precizno dijagnostikovanje poremećaja motiliteta želuca.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

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] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrogastrogram>.
- [6] W. C. Alvarez, *The electrogastrogram and what it shows*, JAMA, vol. 78, pp. 1116–1118, 1922.
- [7] R. M. Stern, *The history of EGG*, in Neurogastroenterologia, ch. 1, pp. 20–26, 2000.
- [8] I. H. Tumpeer, P. W. Blitzsten, *Registration of peristalsis by the Einthoven galvanometer*, Am J Dis Child, vol. 11, pp. 454–455, 1926.
- [9] I. H. Tumpeer, P. W. Blitzsten, *Hyperperistaltic electrographic effects*, Am J Med Sci, vol. 184, pp. 831-836, 1932.
- [10] R. C. Davis, L. Galafolo, F. P. Gault, *An exploration of abdominal potentials*, J Com Psysiol Psychol, vol. 50, pp. 519–523, 1957.
- [11] R. C. Davis, L. Galafolo, K. Kveim, *Conditions associated with gastrointestinal activity*, J Com Physiol Psychol, vol. 52, pp. 466–475, 1959.
- [12] L. K. Stevens, N. Worrall, *External recording of gastric activity: the electrogastrogram*, Physiol Psychol, vol. 2, pp. 175–180, 1974.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] D. A. Linkens, S. P. Datardina, *Estimations of frequencies of gastrointestinal electrical rhythms using autoregressive modeling*, Med Biol Eng Comput, vol. 16, pp. 262–268, 1978.
- [16] H. Geldof, E. J. Van Der Schree, *Electrogastrography: Clinical applications*, Scand J Gastroenterol, vol. 24 (Suppl. 171), pp. 75–82, 1989.
- [17] J. Z. Chen, R. W. McCallum, *Electrogastrography. Principles and Applications*, New York: Raven Press; 1994.
- [18] 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.
- [19] M. Camilleri, W. Hasler, H. P. Parkman, E. M. M. Quigley, E. Soffer, *Measurement of gastroduodenal motility in the GI laboratory*, Gastroenterology, vol. 115, pp. 747–762, 1998.
- [20] S. K. Sarna, *Gastrointestinal electrical activity: terminology*, Gastroenterology, vol. 68, pp. 1631-1635, 1975.
- [21] K. A. Kelly, „Motility of the stomach and gastroduodenal junction“, in: *Physiology of the gastrointestinal tract*, ed. I. A. Johnson, pp.393-410, New York: Raven, 1981.
- [22] J. D. Chen, R. W. McCallum, *Clinical application of electrogastrography*, Am J Gastroenterol, vol. 88, pp. 1324-1336, 1993.
- [23] X. Lin, J. Z. Chen, *Abnormal gastric slow waves in patients with functional dyspepsia assessed by multichannel electrogastrography*, Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol, vol. 280, pp. G1370-G1375, 2001.
- [24] J. Yin, D. Levanon, J. D. Chen, *Inhibitory effects of stress on postprandial gastric myoelectrical activity and vagal tone in healthy subjects*, Neurogastroenterol Motil, vol. 16, pp. 737-744, 2004.
- [25] L. W. Qian, P. J. Pasricha, J. D. Chen, *Origin and patterns of spontaneous and drug-induced canine gastric myoelectrical dysrhythmias*, Dig Dis Sci, vol. 48, pp. 508-515, 2003.
- [26] H. Ouyang, J. Xing, J. D. Chen, *Tachygastria induced by gastric electrical stimulation is mediated via alpha- and beta-adrenergic pathway and inhibits antral motility in dogs*, Neurogastroenterol Motil, vol. 17, pp. 846-853, 2005.
- [27] G. Riezzo, F. Pezzolla, J. Thouvenot, et al, *Reproducibility of cutaneous recordings of electrogastrography in the fasting state in man*, Pathol Biol, vol. 40, pp. 889–894, 1992.
- [28] B. Pfaffenbach, R. J. Adamek, K. Kuhn, M. Wegneer, *Electrogastrography in health subjects: Evaluation of normal values, influence of age and gender*, Dig Dis Sci, vol. 40, pp. 1445–1450, 1995.
- [29] G. Riezzo, M. Chiloiro, V. Guerra, *Electrogastrography in health children: Evaluation of normal values, influence of age, gender and obesity*, Dig Dis Sci, vol. 43, pp. 1646–1651, 1998.
- [30] N. Mirizzi, U. Scafoglieri, *Optimal direction of the electrogastrographic signal in man*, Med Biol Eng Comput, vol. 21, pp. 385–389, 1983.
- [31] D. Levanon, M. Zhang, J. D. Z. Chen, *Efficiency and efficacy of the electrogastrogram*, Dig Dis Sci, vol. 43, no. 5, pp. 1023–1030, 1998.
- [32] J. Chen, *A computerized data analysis system for electrogastrogram*, Comput Biol Med, vol. 22, pp. 45–57, 1992.
- [33] J. Liang, J. D. Z. Chen, *What can be measured from surface electrogastrography?*, Dig Dis Sci, vol. 42, no. 7, pp. 1331–1343, 1997.
- [34] J. Chen, R. W. McCallum, *Gastric slow wave abnormalities in patients with gastroparesis*, Am J Gastroenterol, vol. 97, pp. 477–482, 1992.
- [35] R. H. Smallwood, „Gastrointestinal electrical activity from surface electrodes“, Ph.D. dissertation, Sheffield, UK.

ABSTRACT

Electrogastrography (EGG) is a non-invasive electrophysiological technique used to record the electrical activity of the stomach using electrodes placed on the abdomen. EGG has been mostly used in clinical studies and diagnostics in gastroenterology, but there is a growing interest in scientific research of EGG methods in the field of biomedicine and psychophysiology. The aim of this paper, based on the existing literature, is to present the basic physiological characteristics of EGG signals, as well as possible ways of recording and processing these signals.

Review of electrogastrographic method

Jelena Đorđević Kozarov, Platon Sovilj, Marjan Urekar,
Milan Šaš, Mirosljub Pešić