

Pregled metoda za snimanje i analizu elektrogastrografskog signala

Milica Stojanović, *član ETRAN*, Jelena Đorđević Kozarov, *član ETRAN*, Milan Simić, *član ETRAN* i Platon Sovilj, *član ETRAN i Member, IEEE*

Apstrakt—Elektrogastrografija (EGG) je neinvazivna metoda za ispitivanje mioelektrične aktivnosti želuca. EGG signali se snimaju upotrebom površinskih elektroda postavljenih na kožu stomaka. Danas je elektrogastrografija jedna od metoda koja se može koristiti za dijagnostiku mioelektričnih abnormalnosti želuca. Sve više se javlja interesovanje i za naučno istraživanje EGG metode, pronalaženje jednostavnih a pouzdanih procedura za snimanje, kao i mogućnost primene ove metode u oblasti biomedicine i psihofiziologije. Snimanje i analiza EGG-a još uvek nisu u potpunosti standardizovani, tako da postoje velike varijacije u procedurama i sistemima koji su do sada korišćeni u istraživanjima i opisani u literaturi. U ovom radu su, na osnovu postojeće literature, opisane dve različite procedure snimanja EGG signala i istaknute su njihove prednosti.

Ključne reči— Elektrogastrografija, mioelektričnost, želudac

I. UVOD

ELEKTROGASTROGRAFIJA je neinvazivna dijagnostička metoda za snimanje mioelektrične aktivnosti želuca pomoću površinskih elektroda postavljenih na abdominalnu kožu u predelu želuca. Signal snimljen elektrogastrografijom naziva se elektrogastrogram (EGG) [1-5]. Mioelektričnu aktivnost želuca prvi je zabeležio Alvarez 1922. godine [6], postavivši elektrode na površinu stomaka čoveka. Međutim, rani EGG uređaji koji su koristili površinske elektrode nisu mogli da razlikuju EGG signale od srčanih i respiratornih artefakata. Napredak tehnike snimanja EGG-a, kao i moguće računarske analize snimljenog signala, omogućili su široku upotrebu EGG-a. Prvi snimak EGG-a na koži, koji je prijavio Bellahsene 1985. godine [7], predstavljao je proboj u kliničkoj primeni EGG-a. Zbog svoje neinvazivne prirode, 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 [8].

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

Milica Stojanović – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, (e-mail: milica.stojanovic@elfak.ni.ac.rs)
 Jelena Đorđević Kozarov – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, (e-mail: kozarov@elfak.ni.ac.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0002-6941-4098>)
 Milan Simić – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, (e-mail: milan.simic@elfak.ni.ac.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0003-2411-3571>)
 Platon Sovilj – Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, (e-mail: platon@uns.ac.rs)

(respiratorni artefakt, električne smetnje malih creva, elektrokardiogram i interferencijski šum elektroda-koža). 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. Snimanje EGG-a treba izvoditi vrlo oprezno da bi se minimizirali mogući artefakti.

U cilju boljeg razumevanja različitih metoda za snimanje i analizu EGG signala, u ovom radu je najpre opisana mioelektrična aktivnost želuca koja se može meriti korišćenjem površinskih elektroda i opisani su karakteristični parametri EGG signala. Takođe, opisani su i tehnički detalji pravilnog merenja EGG signala u cilju sprečavanja artefakata. Na kraju rada su opisane i diskutovane metode za snimanje EGG signala pomoću višekanalnih i jednokanalnih sistema.

II. MIOELEKTRIČNA AKTIVNOST ŽELUCA I PARAMETRI EGG SIGNALA

Mioelektrična aktivnost želuca se može meriti na tri načina:

1. Serozno/mukozno - invanzivna metoda kod koje se elektrode na seroznu/mukoznu površinu želuca postavljaju hirurški (primena je ograničena uglavnom na životinje),
2. intraluminalno – invanzivna metoda kod koje se vrši intubacija katetera sa elektrodama za snimanje želuca,
3. na površini kože - neinvazivna metoda kod koje se merenje vrši pomoću površinskih elektroda (EGG metoda).

EGG se definiše kao snimanje mioelektrične aktivnosti glatkih mišića želuca pomoću elektroda pričvršćenih na kožu abdomena. EGG predstavlja bezbolan i neinvazivan test, bez kontraindikacija, kojim se određuje električna aktivnost u želucu pre, tokom i posle jela [8].

A. Karakteristični parametri EGG signala

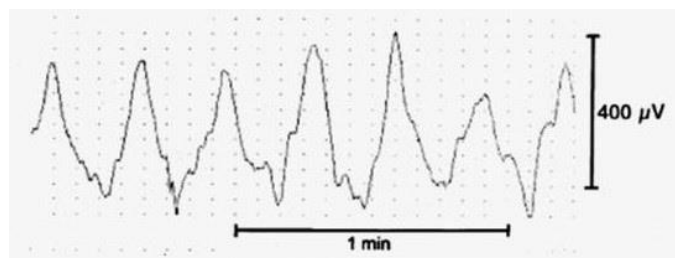
Analiza talasnog oblika EGG-a u vremenskom domenu se retko koristi, već se kvantitativne analize podataka EGG-a uglavnom zasnivaju na metodama spektralne analize. Frekvencija na kojoj snaga u EGG spektru snage ima vršnu vrednost u opsegu od 0.5 cpm (ciklusa u minuti - eng. *cycles per minute*, cpm) do 9.0 cpm naziva se *EGG dominantna frekvencija* (DF). *Dominantna snaga* (DS) je snaga na dominantnoj frekvenciji. Snaga EGG je predstavljena u decibelima (dB).

Dokazano je da je DF dobijena pomoću EGG jednaka DF invazivno merenih gastričnih sporih talasa [9]. Takav rezultat ukazuje da je EGG metoda relevantna mera mioelektrične

aktivnosti želuca i pruža dokaze da je moguće dobiti potrebne informacije korišćenjem neinvazivne tehnike.

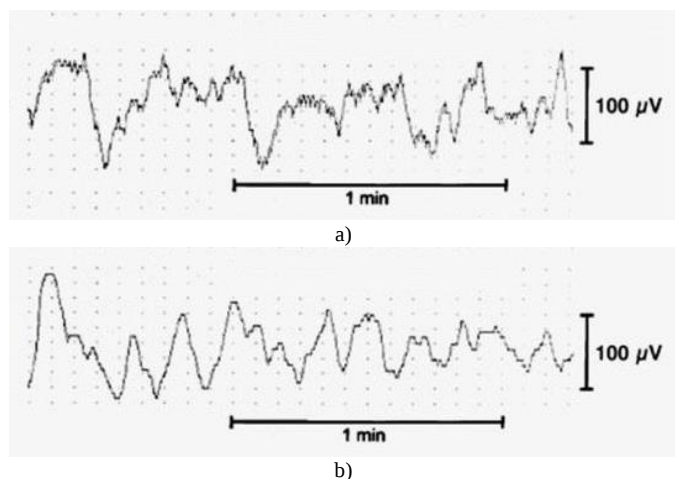
B. Normalna mioelektrična aktivnost želuca

Mioelektrična aktivnost želuca sastoji se od sporih talasa i šiljastih (*spike*) ili sekundarnih potencijala (Sl. 1) [3]. *Spike* ili sekundarni potencijali su superponirani na želudačne spore talase i direktno su povezani sa kontrakcijama želuca.



Sl. 1. EGG snimak normalne mioelektrične aktivnosti želuca [10].

Spori talas se još naziva i aktivnost električne kontrole, dok se šiljasti potencijali nazivaju akcioni potencijali [11,12]. Gastrični spori talas određuje maksimalnu frekvenciju i propagaciju želudačnih kontrakcija. Nastaje u gornjem delu želuca i širi se ka izlaznom delu želuca (pilorusu), pri čemu mu se povećavaju brzina i amplituda. Kontrakcija želuca nastaje kada je spori talas praćen šiljastim potencijalima, pa se spori talas i šiljasti potencijali smatraju električnim parom želudačnih kontrakcija. Simultani kožni i serozni/mukozni snimci aktivnosti želuca pokazali su da DF EGG-a predstavlja frekvenciju sporog talasa želuca, dok DS EGG-a odražava amplitudu i pravilnost želudačnih sporih talasa [13].



Sl. 2. EGG snimci abnormalne mioelektrične aktivnosti želuca:
a) bradigastrija, b) tahigastrija [10].

Frekvencija normalnih sporih talasa u želucu iznosi približno 3 cpm, odnosno 0.05 Hz, kod ljudi [14-16], dok se amplituda sporih talasa kreće u rasponu od 50 µV do 500 µV. Abnormalnosti frekvencije gastričnog sporog talasa su povezane sa gastričnim motoričkim poremećajima i gastrointestinalnim simptomima.

C. Gastrična aritmija i abnormalni spori talasi

Mioelektrična aktivnost želuca može se promeniti ili postati abnormalna u bolesnim stanjima, nakon operativnih zahvata ili spontano. Pojava abnormalne ritmičke električne aktivnosti ukazuje na abnormalnosti u pokretljivosti želuca. Abnormalna mioelektrična aktivnost želuca uključuje želudačnu aritmiju, bradigastriju (abnormalno sporo širenje talasa, Sl. 2a) i tahigastriju (abnormalno povećanje brzine električne aktivnosti, Sl. 2b). 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 DF ne može odrediti, u pitanju je želudačna aritmija. Bradigastrija i tahigastrija mogu biti povezani sa mučninom, gastroparezom i sindromom iritabilnog creva [8].

III. NAČIN SNIMANJA EGG SIGNALA

S obzirom da je EGG osetljiv na artefakte pokreta, za dobijanje pouzdanih podataka neophodna je pažljiva i pravilna priprema pre snimanja.

Priprema kože - S obzirom da su EGG signali veoma slabi, vrlo je važno smanjiti impedansu između kože i elektroda što je moguće više. Iz tog razloga je neophodno dobro očistiti abdominalnu površinu na koju će se postaviti elektrode. EGG može sadržati ozbiljne artefakte pokreta, ako koža nije dobro pripremljena [8].

Postavljanje elektroda - Iako ne postoji utvrđen standard, opšte je prihvaćeno da aktivne elektrode za snimanje treba da budu postavljene što bliže antrumu želuca da bi se postigao visok odnos signal-šum [8].

Pozicioniranje ispitanika - Potrebno je da ispitanik bude u udobnom ležećem položaju, ili da sedi u fotelji, u tihoj prostoriji, tokom čitave procedure snimanja. Kad god je to moguće, preporučuje se ležeći položaj, jer je ispitanik u ovom položaju opušteniji, a samim tim se pojavljuje manje artefakata pokreta. Tokom snimanja ispitanik bi trebalo da ostane što je moguće mirniji, a posebno je važno da ne učestvuje u razgovorima [8].

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. EGG treba snimati najmanje 30 minuta (ne manje od 15 min u svakom slučaju) u stanju gladovanja i najmanje 30 minuta u stanju nakon obroka. Test obrok treba da sadrži najmanje 250 kcal bez mnogo masti. Obično se preporučuju čvrsti obroci, mada se u nekim istraživanjima koristila voda kao test obrok [8].

IV. PRIMERI METODA ZA SNIMANJE I ANALIZU EGG SIGNALA

EKG meri dve kategorije želudačne električne aktivnosti: aktivnost električnog odgovora (*spike* potencijali) i aktivnost električne kontrole (spori talasi). Pojava abnormalne ritmičke električne aktivnosti ukazuje na abnormalnosti u pokretljivosti želuca. EGG je koristan ne samo za procenu stanja bolesti, već i za pružanje novih uvida u gastrointestinalni motilitet.

EKG 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, tako da postoje velike varijacije u

procedurama i sistemima koji su do sada korišćeni u istraživanjima i opisani u literaturi. U daljem tekstu su prikazane procedure snimanja EGG signala višekanalnim i jednokanalnim uređajem.

A. Višekanalna elektrogastrografija

Jedan od načina snimanja EGG-a višekanalnim uređajem opisao je Murakami sa saradnicima, [17]. U njihovim istraživanjima, korišćen je četvorokanalni uređaj sa šest elektroda – četiri elektrode postavljene na nekoliko različitih pozicija, jedna referentna elektroda i jedna elektroda za uzemljenje. Vršena su testiranja na prazan i na pun želudac. Najpre se 20 minuta snima EGG na prazan želudac (signal posta), dok ispitanik sve vreme miruje u ležećem položaju da bi se eliminisali artefakti pokreta. Posle završenog snimanja ispitanik dobija test obrok (pirinač i zeleni čaj), nakon čega se ponovo vrši snimanje u trajanju od 20 minuta (postprandijalni signal). Položaj ispitanika i uslovi tokom snimanja su identični i u slučaju praznog i u slučaju punog želuca. Signali sa elektroda se filtriraju i obrađuju brzom Furijeovom transformacijom da bi se dobio spektar snage, čime se automatski izračunavaju DF i DS. Vršene su tri serije testiranja, sa različitim brojem ispitanika (19, 20 i 15). U svakoj seriji je bio određen broj potpuno zdravih ispitanika, određeni broj ispitanika koji su imali hirurški zahvat na želucu i određeni broj ispitanika koji su imali dijagnostikovanu bolest želuca (čir ili kancer).

S obzirom da neki ispitanici postaju nekooperativni ako ukupno vreme pregleda prelazi 60 minuta, a tako dugi pregledi su posebno nezgodni kada se izvode kao ambulantni testovi, snimanje je vršeno kraće nego što je preporučeno – i signal posta i postprandijalni signal su snimani po 20 minuta. To znači da su sve procedure, uključujući objašnjenje o tome šta je EGG i kako se izvodi test, konzumacija obroka i snimanja EGG-a, bile završene u roku od 60 min.

Dobijeni rezultati su pokazali da su p-vrednosti kod sve tri grupe ispitanika, na svim kanalima, bile manje od 0.05, što potvrđuje njihovu statističku značajnost. Iako je trajanje snimanja EGG-a 10 minuta kraće u odnosu na preporučeno vreme snimanja, nije primećen značajan uticaj na dobijene rezultate, odnosno nisu primećena odstupanja u odnosu na rezultate dobijene dužim merenjem. Na osnovu toga, može se zaključiti da se vreme snimanja može smanjiti, a da se ne naruši kvalitet dobijenih rezultata.

B. Jednokanalna elektrogastrografija

U cilju testiranja hipoteze da se jednokanalni EGG može koristiti kao dobar dijagnostički alat za procenu mioelektrične aktivnosti želuca, vršeno je EGG snimanje površinskim elektrodama, postavljenim na kožu abdomena iznad tela želuca, kod 20 potpuno zdravih ispitanika [18]. Predložena su tri različita položaja elektroda: E1 – u gornjem delu želuca, bliže grudnoj kosti, E2 - u predelu pejsmejкера želuca, na velikoj krivini želuca i E3 – u donjem delu želuca. Celokupna procedura snimanja traje manje od jednog sata, a pruža dovoljno informacija za procenu pokretljivosti želuca. Grupa ispitanika je podeljena u dve podgrupe, na osnovu indeksa

telesne mase - 10 ispitanika normalne težine i 10 ispitanika sa prekomernom težinom.

Za svakog ispitanika snimljena su dva EGG signala u trajanju od po 20 minuta. Prvi EGG signal (signal posta) snimljen je nakon perioda gladovanja od šest sati, bez unosa tečnosti u poslednja dva sata (uključujući i vodu). Nakon završenog prvog snimanja, ispitanik dobija test obrok (ovsene pahuljice i cedeni sok od pomorandže), nakon čega se vrši snimanje drugog EGG signala (postprandijalni signal), takođe u trajanju od 20 minuta. I ovde su položaj ispitanika i uslovi tokom snimanja bili identični, i u slučaju praznog i u slučaju punog želuca. Cela procedura je završena za manje od 60 minuta po osobi.

Dobijeni rezultati pokazuju da je DF nakon obroka povećana u poređenju sa DF nakon posta, što je u skladu sa ranije objavljenim rezultatima [10]. Ovo potvrđuje validnost predložene postavke snimanja i metode proračuna DF. Bilo koji od tri predložena položaja elektroda dovela bi do istog rezultata u pogledu povećanja DF, sa zadovoljavajućom statističkom značajnošću. Uprkos tome, autori u [18] primećuju da je razlika između prosečnih DF-a merenih na prazan i na pun želudac, u podacima dobijenim sa elektrode E2, bila veća od razlika dobijenih sa elektroda E1 i E3. Odgovarajuće p-vrednosti za E1 i E3 bile su veće nego za E2, ali i dalje ispod 0.05 što potvrđuje njihovu statističku značajnost. Ovo može biti posledica povećanog prisustva disanja i EKG artefakata, jer se E1 nalazi u blizini grudne kosti. Za elektrodu E3 veće p-vrednosti mogu biti posledica povećane interferencije sa električnom aktivnošću iz tankog creva, jer je elektroda postavljena iznad donjeg dela želuca. Najniža p-vrednost (7.82×10^{-6}) dobijena za lokaciju elektrode E2 može implicirati da bi to mogao biti najpogodniji položaj za postavljanje elektrode prilikom snimanja EGG-a jednokanalnim uređajem. Praktično, postavljanjem elektrode u predelu pejsmejкера u želucu, smanjuje se uticaj disanja i EKG-a, sa jedne strane, i smanjuju se artefakti tankog creva, sa druge strane.

Na osnovu dobijenih rezultata, u [18] je pokazano da se procedura snimanja EGG signala jednokanalnim uređajem može koristiti za procenu mioelektrične aktivnosti želuca. Korišćenjem ove procedure bi se, pored smanjenog vremena snimanja, smanjila i robustnost uređaja za snimanje EGG signala.

V. ZAKLJUČAK

EGG je jedna od retkih neinvazivnih procedura za ispitivanje motiliteta želuca i korisna je za objektivnu procenu funkcionisanja gastrointestinalnog sistema. Iako je dosta osetljiva na artefakte pokreta, kao i na električne signale drugih unutrašnjih organa, očekuje se da će ova metoda igrati važnu ulogu u budućem razvoju kliničke dijagnostike. Međutim, procedure i sistemi korišćeni u dosadašnjim istraživanjima se dosta razlikuju, što ukazuje na potrebu za standardizacijom EGG procedura i tehničke terminologije.

Metode opisane u ovom radu, preuzete iz postojeće literature, pokazuju da se procedure za snimanje EGG signala

mogu pojednostaviti smanjenjem vremena snimanja na 20 minuta po testu, kao i korišćenjem jednokanalnih uređaja. To bi, svakako, olakšalo primenu elektrogastrografije u kliničkoj dijagnostici u budućnosti.

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] Bellahsene BE, Hamilton JW, Webster JG, Bass P, Reichelderfer M. *An improved method for recording and analyzing the electrical activity of the human stomach*. IEEE Trans Biomed Eng. 1985; 32(11): 911-5.
- [8] Jelena Đorđević Kozarov, Platon Sovilj, Marjan Urekar, Milan Šaš i Miroljub Pešić, *Pregled elektrogastrografske metode, 66. konferencija za ETRAN 2022, Zbornik radova, ML2.2, str. 340-343, 6 - 9. jun 2022. godine, Novi Pazar, Srbija*. ISBN 978-86-7466-930-3.
- [9] Chen JDZ, Zou X, Lin X, Ouyang S, Liang J. *Detection of gastric slow wave propagation from the cutaneous electrogastrogram*. Am J Physiol 1999;277:G424-30.
- [10] Parkman HP, Hasler WL, Barnet JL, Eaker EY. *Electrogastrography: a document prepared by the gastric section of the American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force*. Neurogastroenterol Motil 2003;15:89-102.
- [11] S. K. Sarna, *Gastrointestinal electrical activity: terminology*, Gastroenterology, vol. 68, pp. 1631-1635, 1975.
- [12] 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.
- [13] J.W. Hamilton, B.E. Bellahsene, M. Reichelderfer, J.G. Webster, P. Bass, *Human Electrogastrograms Comparison of Surface and Mucosal Recordings*, Digestive Diseases and Sciences, Vol. 31, No. 1, pp. 33-39, 1986.
- [14] J. D. Chen, R. W. McCallum, *Clinical application of electrogastrography*, Am J Gastroenterol, vol. 88, pp. 1324-1336, 1993.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Murakami H, Matsumoto H, Ueno D, Kawai A, Ensako T, Kaida Y, Abe T, Kubota H, Higashida M, Nakashima H, Oka Y, Okumura H, Tsuruta A, Nakamura M, Hirai T., *Current status of multichannel electrogastrography and examples of its use*, J Smooth Muscle Res, vol. 49, pp. 78-88, 2013.
- [18] Popović NB, Miljković N, Popović MB, *Simple gastric motility assessment method with a single-channel electrogastrogram*, Biomed Tech (Berl), vol. 64, no. 2, pp. 177-185, 2019

ABSTRACT

Electrogastrography (EGG) is a non-invasive method for examining the myoelectric activity of the stomach. EGG signals are recorded using surface electrodes placed on the skin of the abdomen. Today, electrogastrography is one of the methods that can be used to diagnose myoelectric abnormalities of the stomach. There is increasing interest in the scientific research of the EGG method, finding simple and reliable recording procedures, as well as the possibility of applying this method in the field of biomedicine and psychophysiology. EGG recording and analysis are not yet fully standardized, so there is great variation in the procedures and systems used in research and described in the literature to date. In this paper, based on existing literature, two different EGG signal recording procedures are described and their advantages are highlighted.

Methods review for electrogastrographic signal recording and analysis

Milica Stojanović, Jelena Đorđević Kozarov, Milan Simić,
Platon Sovilj