

Klasifikacija patoloških i bezazlenih srčanih šumova spektralnom analizom akustičkih kardiosignala

Božo Tomas, Željko Rončević, Darko Zelenika, Antonija Krtalić

Sadržaj — U ovom radu su analizirani frekvencijski parametri akustičkih signala otkucaja srca djece sa bezazlenim Stillovim šumom i sa patološkim VSD šumom. Ti parametri predstavljaju značajnu informaciju u kompjuterskoj kardiološkoj dijagnostici. Kod dijagnoze zdravstvenog stanja srca, najbitnija je tačna selekcija: zdravo srce (nema deformacija na srcu) ili bolesno srce (deformacije na srcu). Deformacije na srcu se manifestuju kroz patološke šumove, a kod zdravog srca nema šumova ili se pojavljuju tzv. bezazleni šumovi. U radu su analizirani i prikazani frekvencijski parametri na osnovu kojih je moguće klasificirati bezazlene i patološke šumove.

Ključne reči — Auskultacija, bezazleni šumovi, patološki šumovi, spektralna analiza kardiosignala.

I. UVOD

ZVUKOVI otkucaja srca (akustički kardiosignali) su veoma kompleksan oblik zvučnih poruka. Taj zvuk je također izvor kodiranih informacija zdravstvenog stanja srca pacijenta. Nažalost, dekodiranje tih informacija u tome obliku (akustička domena) je veoma komplikovano i zahtijeva izuzetno znanje i vještinu pa čak i muzičku nadarenost od strane ljekara koji slušaju zvuk srca pacijenta. Dijagnoza slušanjem zvukova srca stetoskopom (auskultacija) je također otežana stoga što su srčani tonovi i šumovi uglavnom raspoređeni u području niskih frekvencija za koje ljudsko uho kao i stetoskop nisu najbolje prilagođeni [1].

Spektralnom analizom zvučnih datoteka otkucaja srca s patološkim te s bezazlenim srčanim šumovima će se odrediti frekvencijski parametri akustičkih signala otkucaja srca kod obje vrste šumova. Vrednovanje frekvencijskih parametara akustičkog signala otkucaja srca će da pomogne ljekarima kod medicinskih dijagnoza. Vrlo bitno je da se otkriju deformacije na srcu, ako postoje, i pacijent uputi kardiologu. Također, vrednovanje tih parametara će omogućiti da se prepoznaju bezazleni

šumovi kod otkucaja srca, odnosno da se takvim pacijentima odredi tačna dijagnoza: nema nikakvih deformacija na srcu - pacijent zdrav. Naime, bezazleni šumovi ne predstavljaju nikakvu deformaciju na srcu i česta su pojava u kardiološkoj praksi. Ljekari još uvijek ne znaju uzroke pojave ovih šumova. Ovi bezazleni šumovi su redovita pojava u dječijoj populaciji. Poznato je nekoliko bezazlenih šumova, ali je Stillov šum najzastupljeniji. Ovaj šum je prvi opisao poznati engleski pedijatar George Frederich Still (1868-1941) [2] te je po njemu i dobio ime. Postoje različita tumačenja o nastanku ovog šuma. Dosadašnja istraživanja su pokazala da ljekari pogrešno postavljaju dijagnozu srčanih šumova u djece. Tako se Stillov šum, koji je bezazlen, često pogrešno prepoznaje kao patološki.

S druge strane, VSD (Ventrikularni Septalni Defekt) je dobar primjer patološkog šuma. Razlika između strukture spektralnih energija kardiosignala je veoma informativna kod klasifikacije srčanih šumova [3]. Detaljnom spektralnom analiza 10 zvučnih zapisa srčanih signala sa bezazlenim Stillovim šumom i 10 zvučnih zapisa srčanih signala sa patološkim VSD šumom određeni su i prikazani vremenski i frekvencijski parametri na osnovu kojih je moguće odrediti klasifikaciju odnosno medicinsku dijagnozu za ove šumove. Frekvencijska transformacija signala rađena je Goertzel algoritmom. Gerald Goertzel (1920-2002) je 1958. godine iz diskretne Fourieove transformacije izveo ovaj algoritam [4].

Ovaj rad je organiziran na sljedeći način. U poglavlju II je opisan postupak snimanja i analize zvučnih zapisa srčanih signala te predmet i cilj ovog istraživanja. U poglavlju III je opisan postupak spektralne analize zvučnih datoteka akustičkih kardiosignala sa bezazlenim Stillovim i sa patološkim VSD šumom. Rezultati spektralne analize i vrijednosti dobivenih frekvencijskih parametara za obje vrste šuma su prezentirani u poglavlju IV, a u poglavlju V su dati finalni zaključci ovog rada.

II. METODOLOGIJA SNIMANJA I ANALIZE AKUSTIČKIH ZAPISA KARDIOSIGNALA

Kod djece, pacijenata kardiološke ambulante, će se snimiti sa elektroničkim stetoskopom (Littmann 4000, 3M, Health Care, St. Paul, MN, SAD) zvučni zapisi otkucaja srca. Auskultirati će se i snimiti zvučni zapisi (zvučne datoteke) akustičkih aktivnosti srca u vremenskom trajanju 8 sekundi za svakog pacijenta. Snimljene datoteke će se podijeliti u tri grupe: **1)** bez srčanog šuma - Normal, **2)** sa fiziološkim bezazlenim šumom i **3)** sa patološkim šumom povezanim s urođenom srčanom manom. Također, sva

Rad je finansiran od strane Ministarstva za obrazovanje i nauku Federacije Bosne i Hercegovine u okviru programa za finansiranje naučnoistraživačkih projekata u F BiH u 2010 godini

B. Tomas, Fakultet strojarstva i računarstva Sveučilišta u Mostaru, BiH (telefon/faks: 00387 36 395 292; e-mail: bozo.tomas@hronet.ba).

Ž. Rončević, Sveučilišna Klinika Mostar, Klinika za dječje bolesti, (e-mail: zeljko.roncevic@upubih.org)

D. Zelenika, A. Krtalić i B. Tomas, Fakultet društvenih znanosti dr. Milenka Brkića, Međugorje, BiH (e-mail: darko.koga@hotmail.com; antonija.krtalic@hronet.ba)

djeca će biti pregledana na ultrazvučnom uređaju s Dopplerskim prikazom u boji jer je to zlatni standard za postavljanje dijagnoze prirodne srčane greške i drugih srčanih bolesti.

Predmet istraživanja su digitalni snimci akustičkog signala otkucaja srca djece s fiziološkim bezazlenim Stillovim šumom i djece s patološkim srčanim šumom Ventrikularnog Septralnog Defekta - VSD. Za 10 zvučnih datoteka srčanih signala s bezazlenim Stillovim šumom kao i za 10 zvučnih datoteka srčanih signala s patološkim šumom VSD će se uraditi frekvencijska transformacija. Nakon toga, dobiveni rezultati spektralne analize će biti statistički obrađeni. Analizirani frekvencijski parametri su:

- frekvencija spektralnih ekstrema tj. frekvencija na kojoj spektar šuma ima najveću energiju (pikovi);
- širina frekvencijskog opsega;
- intenzitet spektralne energije na rezonantnoj frekvenciji (spektralna energija pikova).

Također, veoma dobro bi bilo uraditi medicinske statističke analize frekvencijskih parametara ovih dvaju vrsta šumova, na znatno većem broju uzoraka, kako bi se pouzdano mogli definisati frekvencijski parametri akustičkog srčanog signala relevantni za prepoznavanje odnosno klasifikaciju ovih srčanih šumova. Implementacija dobivenih rezultata će da pomogne kod izrade programskih rješenja na osnovu kojih će se spektralnom analizom akustičkih zapisa srčanih signala moći raditi dijagnoze zdravstvenog stanja pacijenta. Ova dijagnoza se svodi na klasifikaciju srčanih šumova.

III. FREKVENCIJSKA ANALIZA ZVUČNIH DATOTEKA

Zvučne datoteke su snimljene u e4k formatu i privremeno memorisane u memoriji elektroničkog stetoskopa. Pomoću IC porta datoteke su prenesene u PC u kojem je instaliran odgovarajući program za prihvatanje kardiosignala, memorisanje kao i vremenski i spektrogramski prikaz kardiosignala. Za tu svrhu je korišten 3M Littmann sound analysis software koji može da konvertuje e4k u wav format (*waveform*) i da izrađuje spektrogram. Sve zvučne datoteke su konvertovane u wav format i zatim je za sve datoteke urađena spektralna analiza. Za 10 datoteka sa bezazlenim Stillovim šumom i za 10 datoteka sa patološkim VSD šumom je urađena frekvencijska transformacija snimljenih vremenskih zapisa kardiosignala.

Srčani signali su dobar primjer periodičnih variabilnih psiholoških signala [5]. Može se reći da su srčani signali i šumovi vremenski nestacionarni niskofrekventni kvaziperiodični signali. Jedan ciklus rada srca kod svakog čovjeka se sastoji od slijedećih vremenskih intervala: prvi srčani ton, sistola, drugi srčani ton i diastola. Kako su i Stillov šum i VSD sistolički šumovi potrebno je analizirati samo izdvojene sistole zvučnih datoteka. Pomoću spektrograma za svaki kardiosignal je određeno vrijeme trajanja odabrane sistole i za taj izdvojeni vremenski interval (ručno izdvojen) rađena je spektralna analiza.

Za spektralnu analizu srčanih signala i šumova u većini objavljenih radova iz ove oblasti je korištena FFT (Brza Fourierova transformacija) i/ili Wavalet transformacija (WT) [5]-[10]. U ovom istraživanju za frekvencijsku transformaciju signala kao i za određivanje spektralne

energije srčanih signala i šumova korišten je Goertzelov algoritam [1], [3].

Goertzelov algoritam je ustvari realizacija slijedeće diferencne jednačine:

$$y_0 = x_0 + y_1 \times 2 \cos\left(\frac{2\pi m}{N}\right) - y_2 \quad (1)$$

x_0 je vrijednost tekućeg uzorka, y_0 je vrijednost tekuće iteracije, y_1 je vrijednost zadnje (prethodne) iteracije, a y_2 je vrijednost predzadnje iteracije, m je koeficijent ugađanja odsječka frekvencijske domene, a N je veličina bloka uzoraka.

Uzorci signala se procesiraju uzorak po uzorak i učitavaju u jednačinu (1), tj. jednačina će da se rješava metodom korak po korak. Procesiranje se obavlja nad blokom podataka duljine N . Nakon prolaska svih N uzoraka kroz jednačinu (1), koristi se formula (2) za određivanje spektralne energije kardiosignala na frekvenciji na koju će promatrana ćelija da bude podešena.

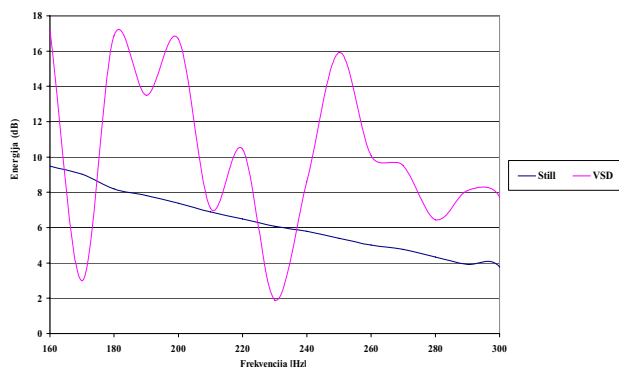
$$E_m = y_1^2 + y_2^2 - 2y_1y_2 \cos\left(\frac{2\pi m}{N}\right) \quad (2)$$

Različite spektralne rezolucije i frekvencijski opsezi su analizirani kako bi se odredile raspodjele spektralnih energija za ove dvije vrste srčanih šumova. Na osnovu dobivenih raspodjela spektralnih energija određen je frekvencijski opseg bitan za klasifikaciju ove dvije vrste šumova. Ako je potrebno raditi samo klasifikaciju ove dvije vrste srčanih šumova može da se koristi spektralna rezolucija 10-15 Hz ali za ozbiljnije analize srčanih signala i šumova potrebno je da bude spektralna rezolucija manja od 10 Hz. Pretpostavlja se da će se u skoroj budućnosti spektralne analize srčanih signala i šumova raditi sa spektralnom rezolucijom 1 Hz.

Kako naš stetoskop može da snima s frekvencijom uzorkovanja $f_s=8000$ Hz, spektralna rezolucija će da bude određena dužinom bloka uzoraka N i dužinom preklapanja uzastopnih binova. Sa Goertzelovom transformacijom za dužinu bloka uzoraka $N=320$ će se dobiti spektralna rezolucija 25 Hz. Preklapanjem frekvencijskih binova 50%, odnosno odabirom koeficijenata ugađanja frekvencija m , će se dobiti spektralna rezolucija 12,5 Hz. Za dužinu bloka uzoraka $N=400$ dobiva se spektralna rezolucija 20 Hz, a ako je preklapanje binova 50% dobiva se spektralna rezolucija 10 Hz. Za odabrani broj uzoraka $N=320$ trajanje vremenskog okvira će da bude 40 ms, dok će blok od $N=400$ uzoraka da traje 50 ms.

Ove spektralne rezolucije mogu da se primjene kod komparacije raspodjela spektralnih energija, na frekvencijskom opsegu na kojem je raspoređena energija posmatranih šumova, kako bismo s određenom tačnošću mogli da klasifikujemo analizirane šumove. Spektralna energija Stillovog šuma je raspoređena na frekvencijskom opsegu ispod 200 Hz s izraženim jednim ekstremom na frekvenciji u opsegu 90-170 Hz, dok je spektralna energija VSD-a haotično raspoređena na širem frekvencijskom opsegu 90-400 Hz s nekoliko izraženih ekstrema na tome opsegu. Također, VSD ima izraženu spektralnu energiju i ekstreme na frekvencijama iznad 200 Hz tako da je na osnovu komparacije raspodjela spektralnih energija veoma lako uraditi klasifikaciju ovih šumova. Na Sl. 1 (iz [1]) je sa spektralnom rezolucijom 10 Hz prikazana raspodjela

spektralnih energija izdvojenih sistola kardiosignala sa Stillovim šumom i kardiosignala sa VSD šumom.



Sl. 1. Raspodjela spektralnih energija Stillovog šuma i VSD-a u jednoj sistoli

Sa Sl.1 može da se vidi da spektralna energija Stillovog šuma nije raspoređena na frekvencijskom opsegu viših frekvencija (iznad 180 Hz) dok je spektralna energija VSD šuma haotično raspoređena na cijelom prikazanom frekvencijskom opsegu 160-300 Hz.

Za bolje prikazivanje spektralnih kompozicija kardiosignala kao i za ozbiljnije analize srčanih signala i šumova potrebno je da vremenski okvirovi budu kraći a spektralna rezolucija da bude manja od 10 Hz.

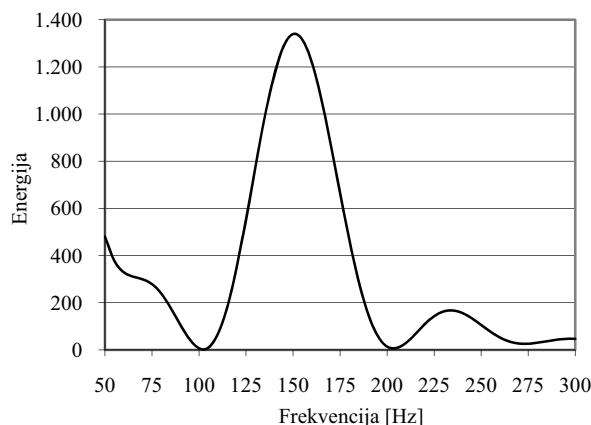
IV. FREKVENCIJSKI PARAMETRI AKUSTIČKIH KARDIOSIGNALA

Goertzelovom transformacijom sa spektralnom rezolucijom od 5 Hz će biti određena spektralna energija izdvojenih sistola za svih 20 snimljenih datoteka. Vremenski okvirovi na kojima je rađena transformacija su $N=160$ uzoraka diskretnog vremena odnosno 20 ms u realnom vremenu ($f_u=8000$ Hz). Pomak po vremenskoj osi je $N=80$ uzoraka odnosno 10 ms realnog vremena. Frekvencijski opseg za koji je rađena transformacija je 50-300 Hz za Stilla odnosno 50-400Hz za VSD.

Prosječno trajanje sistole kod djece je oko 200 ms. Stillov šum traje oko pola sistole dok VSD traje skoro cijelu sistolu. Za finalnu vremensku poziciju je odabran onaj vremenski interval od 20 ms odnosno 160 uzoraka u kojem imamo rezonantni pik s najvećom spektralnom energijom. Na finalnim vremenskim pozicijama je sa spektralnom rezolucijom 2,5 Hz određena spektralna energija kako bismo što preciznije odredili frekvencije pikova i frekvencijske opsege šumova. Grafičkom interpolacijom (vizualnom metodom) možemo da dobijemo preciznost oko 1 Hz. Stillov šum ima samo jedan dominantan pik a VSD može imati nekoliko pikova (najčešće dva ili tri) koji su nešto niže energije od dominantnog pika.

Dakle, frekvencija šuma (frekvencija pika) je frekvencija na kojoj šum ima maksimalnu energiju (vrh krivulje Sl.2). Frekvencijski opseg šuma ($B=f_{max}-f_{min}$) je određivan tako da se određivala frekvencija na kojoj spektralna energija pada na pola vrijednosti lijevo od vrha - f_{min} i desno od vrha - f_{max} . Za VSD šum sa dva ili više pikova (vrhova), f_{min} je lijevo od najvišeg pika a f_{max} desno od najvišeg pika. Na Sl. 2 je prikazan jedan Stillov šum u finalnoj poziciji. Sa slike se vidi da je spektralna energija

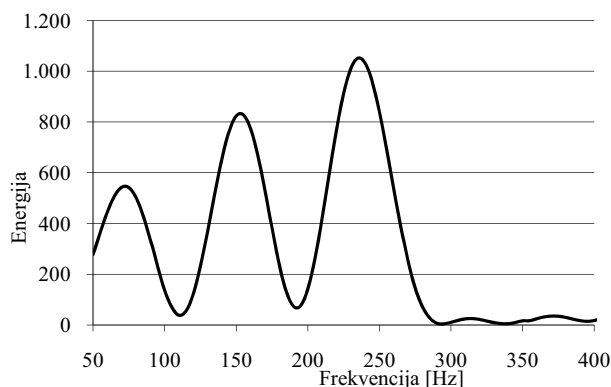
šuma na frekvenciji 150 Hz i iznosi 1340 jedinica (apsolutne vrijednosti dobivene Goertzelovim



Sl. 2. Raspodjela spektralne energije Stillovog šuma

algoritmom), f_{min} je na frekvenciji oko 128 Hz a f_{max} je na frekvenciji oko 174 Hz. Dakle, frekvencija ovog Stillovog šuma je 150 Hz, frekvencijski opseg 46 Hz a spektralna energija 1340.

Na Sl. 3 je prikazan jedan VSD šum, nešto niže spektralne energije, u finalnoj poziciji.



Sl. 3. Raspodjela spektralne energije VSD šuma

Sa slike se vidi da je spektralna energija ovog VSD šuma na frekvenciji 235 Hz i iznosi 1051,3 jedinica, f_{min} je na frekvenciji oko 69 Hz a f_{max} je na frekvenciji oko 261 Hz. Dakle, frekvencija ovog VSD šuma je 235 Hz, frekvencijski opseg je 192 Hz a spektralna energija 1051,3.

U Tabeli 1 date su prosječne vrijednosti frekvencijskih parametara određenih za 10 Stillovih šumova a u Tabeli 2 za 10 VSD šumova.

TABELA 1: PARAMETRI STILLOVOG ŠUMA.

Frekvencija šuma (Hz)	124,12
Frekvencijski opseg (Hz)	42,35
Spektralna energija pika	1006,49

TABELA 2: PARAMETRI VSD ŠUMA.

Frekvencija šuma (Hz)	246,7
Frekvencijski opseg (Hz)	165,6
Spektralna energija pika	1341,64

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabeli 1 i Tabeli 2 se vidi da Stillov šum ima jako nisku frekvenciju i veoma

uski frekvencijskog opseg a da VSD šum ima znatno višu frekvenciju i širi frekvencijski opseg. Također, spektralna energija Stillovog šuma je znatno manja od spektralne energije VSD šuma. Nakon detaljnijih analiza struktura i spektralnih kompozicija ovih šumova može se reći da Stillov šum ima strukturu realnog muzičkog tona koji podsjeća na glisando ton odsviran na bas gitari [1], a da VSD ima strukturu realnog šuma.

Vremenski interval u kojem se događaju ovi šumovi je veoma kratak i događa se periodično u svakoj sistoli. Jedan ciklus akustičkog kardiosignala, zvuk nastao emisijom normalnih otkucaja srca, sastoji se od slijedećih vremenskih događaja: prvi ton – sistola - drugi ton – dijastola - prvi ton. Kod djece ovaj ciklus traje nešto manje od 1 sekunde, a sama sistola u kojoj se pojavljuju Stillov i VSD šum traje oko 200 ms. Kako su frekvencije prvog i drugog srčanog tona veoma niske (ispod 90 Hz), a spektralna energija im je velika (glasni su i dobro se čuju) jasno je da prvi i drugi srčani ton veoma često vremenski i frekvencijski maskiraju Stillov šum i zbog toga ga ljekari slabo i nejasno čuju. Vjerovatno je to jedan od glavnih razloga zašto Stillov šum zbunjuje mnoge ljekare.

VSD šum ima znatno veću energiju od Stillovog šuma, znatno više frekvencije je i nije maskiran frekvencijski a također i traje duplo duže nego Stillov šum pa nije maskiran ni u vremenu od strane prvog i drugog tona. To su vjerojatno razlozi zašto ovaj šum ne predstavlja nikakav problem kod auskultacijske dijagnoze.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu su određene i prikazane razlike između frekvencijskih parametara i spektralnih kompozicija srčanih signala sa bezazlenim i sa patološkim šumovima. Za spektralnu analizu stetoskopom snimljenih kardiosignala je korišten Goertzelov algoritam. Pokazano je da se frekvencijski parametri kao i spektralne kompozicije bezazlenog Stillovog šuma i patološkog VSD šuma jasno razlikuju, te da spektralni prikaz kardiosignala može biti veoma korisno pomagalo za klasifikaciju ovih šumova odnosno za zdravstvenu dijagnozu pacijenta (auskultacijsko – vizualna dijagnoza).

Cilj ovog istraživanja je da se odrede parametri kardiosignala na osnovu kojih će biti moguće s velikom pouzdanošću vršiti klasifikaciju Stillovog bezazlenog šuma. Za VSD šum ljekari auskultacijom uglavnom postavljaju pravu dijagnozu, međutim kod Stillovog šuma su veoma česte pogrešne dijagnoze. Kako bi se ljekarima pomoglo kod prepoznavanja bezazlenog Stillovog šuma potrebno je da se izrade programska rješenja sa grafičkim prikazima spektralnih energija kardiosignala u realnom vremenu. Ovi programi za kompjutersku kardiološku dijagnozu bi pomagali ljekarima u medicinskoj dijagnozi i pravilnoj kategorizaciji Stillovog šuma a naravno i ostalih šumova. Tako bi se izbjegli nepotrebni troškovi i stres zbog dodatnih kardioloških pregleda.

Kako, kod kardiološke dijagnoze, u akustičkoj domeni postoje ograničenja, dobro bi bilo prije standardnih kardioloških pretraga imati i koristiti program za spektralnu analizu digitalnim stetoskopom snimljenog kardiosignala. Takvi programi bi bili dobro pomagalo ljekarima kod kardioloških dijagnoze i ovaj rad je jedan od

prvih koraka kod izrade jednog takvog programskog paketa.

Literatura

- [1] B. Tomas, Ž. Rončević i D. Miloš, "Analiza akustičkog kardiosignala sa šumom u sistoli", XVII Telecommunications Forum-TELFOR 2009, Beograd, Novembar 24-26, 660-663
- [2] GF. Still, Common disorders and diseases of childhood, 1st ed. London: Frowde, Hodder & Stoughton, 1909.
- [3] B. Tomas and Ž. Rončević, "Spectral Analysis of Heart Murmurs in Children by Goertzel Algorithm", computationworld, pp.612-615, 2009 Computation World: Future Computing, Service Computation, Cognitive, Adaptive, Content, Patterns, 2009
- [4] G. Goertzel, "An algorithm for the evaluation of finite trigonometric series", American Mathematics Monthly, vol.65, Jan. 1958
- [5] Guy Amit, Noam Gavriely and Nathan Intrator, "Cluster Analysis and Classification of Heart Sounds", Biomedical Signal Processing and Control 4 (2009) 26-36
- [6] Debbal S.M. Amin and Bereksi-Reguig Fethi; "Features for Heartbeat Sound Signal Normal and Pathological", Recent Patents on Computer Science, 2008, Vol.1, No.1, 1-8
- [7] M. El-Segaier, O. Lilja, S. Lukkarinen, L. Sornmo, R. Sepponen and E. Pesonen, "Computer-Based Detection and Analysis of Heart Sound and Murmur", Annals of Biomedical Engineering, Vol.33, No. 7, July 2005, pp. 937-942 <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/103/22/2711> [accessed, July 23, 2009]
- [8] A. L. Noponen, S. Lukkarinen, A. Angela and R. Sepponen, "Phono-Spectrographic Analysis of Heart Murmur in Children", BMC Pediatrics 2007, 7 <http://www.biomedcentral.com/1471-2431/7/23> [accessed, July 23, 2009]
- [9] Michael Unser and Akram Aldroubi, "A Review of Wavelets in Biomedical Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 84, No. 4., April 1996
- [10] Balster DA, Chan DP, Rowland DG, Allen HD., "Digital Acoustic Analysis of Precordial Innocent Versus Ventricular Septal Defect Murmurs in Children", The American Journal of Cardiology, 1997 Jun 1;79(11):1552-5.

ABSTRACT

Frequency parameters of acoustic heart beat signals in children with Still's innocent heart murmur (Still) and with pathologic heart murmur of Ventricular Septal Defect (VSD) are given in this paper. These parameters represent significant information in computer cardiac diagnosis. At heart health diagnosis, the most important point is selection between: healthy heart (there are no deformations on heart) or sick heart (there are deformations on heart). Deformations on heart are manifesting through pathologic murmurs, there are no murmurs or there are innocent murmurs on healthy heart. In this paper we will choose and show frequency parameters. With these parameters it is possible to classify innocent murmurs and pathologic murmurs.

PATHOLOGIC AND INNOCENT HEART MURMURS CLASSIFICATION BY SPECTRAL ANALYSIS OF ACOUSTIC CARDIOSIGNALS

Božo Tomas, Željko Rončević, Darko Zelenika, Antonija Krtalić