

Zajemanje oscilometričnih ovojnic pri neinvazivnem merjenju krvnega tlaka

Gregor Geršak

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: gregor.gersak@fe.uni-lj.si

Povzetek. V prispevku je predstavljeno neinvazivno merjenje krvnega tlaka s pomočjo oscilometrične metode. Osnova vsakega oscilometričnega merilnika je merjenje ovojnice oscilometričnih tlačnih pulzov v manšeti. Prikazan je zgrajen navidezni instrument, ki s pomočjo tlačnega pretvornika in vzorčevalne kartice zajema tlačne impulze v manšeti in jih okolju LabVIEW obdela in pripravi za določanje sistoličnega in diastoličnega tlaka. Navidezni instrument smo uporabili za tvorjenje oscilometrične ovojnice pri merjenju zdravih prostovoljcev in merjenju izhoda komercialnega elektromehanskega generatorja oscilometričnih pulzov – simulatorja. V prvih poskusih se je izkazal za koristno orodje za študij različnih metod za tvorjenje in obdelavo oscilometričnih ovojnic ter proučevanje vpliva oblike ovojnic na točnost izmerjenega krvnega tlaka.

Gljučne besede: merjenje, krvni tlak, oscilometrija, oscilometrične ovojnice, NIBP

Acquiring the oscillometric envelopes for non-invasive blood pressure measurements

Extended abstract. In this paper, a non-invasive blood-pressure measurement using the oscillometric method is presented. The basis of every oscillometric device is the envelope of oscillometric pressure pulses in the cuff, acquired during the measuring process. A set-up for acquiring oscillometric envelopes was built. The set-up was composed of a pressure transducer, acquisition data card and digital signal processing module in the LabVIEW environment. Preliminary determinations of the oscillometric envelopes from simulated (generated by means of a commercial simulator) and healthy volunteers' blood pressure waveforms were performed. In the first tests, the set-up proved to be a useful tool for studying calculative algorithms for determining the systolic and diastolic pressure from the oscillations envelope and effects of the envelope shape on the measuring accuracy of the device.

Keywords: measurement, blood pressure, oscillometry, oscillometric envelope, NIBP

1 Uvod

Neinvazivno merjenje krvnega tlaka (Non-invasive Blood Pressure – NIBP) je danes poleg merjenja telesne temperature eno osnovnih rutinskih diagnostičnih orodij v medicini. Prvi dokumentirani poskusi neinvazivnega merjenja krvnega tlaka so se pojavili že v devetnajstem

stoletju, ko je leta 1860 Marey opisal merjenje krvnega tlaka s pomočjo oscilometrične metode [1]. V začetku 20. stoletja je bila opisana danes klasična avskultatorna metoda Riva-Roccija, ki jo je pozneje nadgradil Korotkov [2]. Zaradi preprostosti izdelave in posledično zanesljivosti so postali avskultatorna metoda in klasičnih živosrebrni sfigmomanometri osnova vseh neinvazivnih merjenj krvnega tlaka skoraj do konca 20. stoletja. Danes kljub hitremu tehnološkemu napredku že celo stoletje stara avskultatorna metoda še vedno velja za referenčno metodo merjenja. Neinvazivno merjenje krvnega tlaka se je tako v zadnjih stotih letih od idej Riva-Roccija in Korotkova pravzaprav le malo spremenilo. Osnova je še vedno primerno vzdrževan živosrebrni sfigmomanometer, s katerim usposobljena oseba lahko določi sistolični in diastolični krvni tlak preiskovanca [3, 4].

Z razvojem tehnologije, zniževanjem cene elektronskih komponent, velikim napredkom v meroslovju in zavedanjem o nevrotoksičnosti živega srebra so se v drugi polovici 20. stoletja vzporedno razvijale nove metode in nove naprave za merjenje krvnega tlaka. V zadnjih desetletjih so tako poleg ročnih naprav za merjenje krvnega tlaka nastale tudi avtomatske naprave, ki v glavnem temeljijo na oscilometrični metodi. Leta 1974 je podjetje Panasonic ponudilo prvi oscilometrični merilnik na trgu. V osemdesetih letih 20. stoletja pa so se avtomatski merilniki začeli uporabljati tudi v kliničnih okoljih. Danes avtomatske naprave vse bolj izpodrivajo klasične

ročne merilnike. Živosrebrni merilniki danes sicer še veljajo za referenčne merilnike, vendar bodo po EU direktivi 2007/51/EC do leta 2010 umaknjeni s trga EU [5]. Ostali bodo ročni aneroidni, avtomatski oscilometrični in hibridni merilniki. Avtomatski merilniki imajo nekaj prednosti pred ročnimi. Imajo manjšo napako odčitavanja, so bolj zanesljivi in ponovljivi ter ekološko bolj sprejemljivi. Njihove slabosti pa so njihovi vgrajeni empirični računski algoritmi, s pomočjo katerih iz tlačnih pulzov v manšeti ocenijo krvni tlak, in večja občutljivost na fiziološke parametre, kot so obseg nadlakti, starostne spremembe ožilja, srčne aritmije [3, 4].

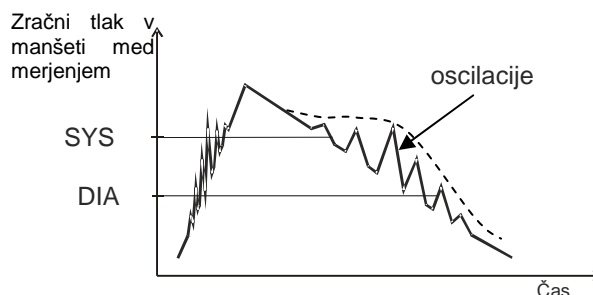
Ugotovljeno je bilo, da je redno spremljanje krvnega tlaka tudi zunaj zdravniške ordinacije eden pomembnih načinov kontroliranja arterijske hipertenzije. Hkratno vztrajno zniževanje cen elektronskih komponent in povečevanje računalniške moči so povzročili, da je oscilometrija danes daleč najbolj uporabljana metoda za merjenje krvnega tlaka za domačo uporabo, v obliki avtomatskih oscilometričnih merilnih naprav pa tudi v kliničnih okoljih. Za odpravljanje in zmanjševanje merilnih napak oscilometričnih merilnikov krvnega tlaka je bistveno dobro razumevanje vpliva oblike oscilometrične ovojnice na rezultirajoč krvni tlak.

Potreben je študij različnih principov sestavljanja ovojnice in vpliva glavnih parametrov ovojnic. V tem prispevku opisujemo instrument za zajemanje oscilometričnih ovojnic, ki so osnova delovanja vsakega oscilometričnega merilnika krvnega tlaka.

2 Oscilometrična metoda merjenja krvnega tlaka

Osnova oscilometrične metode je opazovanje tlačnih pulzov, tako imenovanih tlačnih oscilacij, ki nastanejo v mehuru manšete, ovite okoli arterije pacientovega uda. Običajna mesta merjenja so nadlaket, zapestje, gleženj ali prst. Nihanje arterijskih sten se prenaša na napihnjen mehur manšete in nato po gumijasti cevi na merilnik, v katerem pretvornik tlaka zajema oscilometrične pulze.

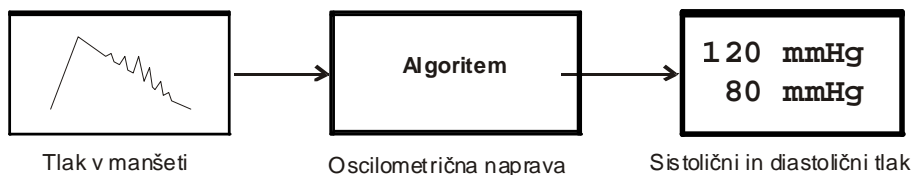
Amplituda in oblika oscilometričnih pulzov se spreminja, ko se tlak v manšeti niža od vrednosti nad sistoličnim tlakom proti vrednostim pod diastoličnim tlakom (slika 1).



Slika 1: Tlak v manšeti med meritvijo krvnega tlaka med napihovanjem nad sistolični tlak (SYS) in spuščanjem zraka iz manšete pod nivo diastoličnega tlaka (DIA). Črtkana krivulja je ovojnica oscilacijskih pulzov ali oscilometrična ovojnica.

Figure 1. Pressure in the cuff bladder during a blood pressure measurement using the oscillometric method. The pressure is increased above the systolic pressure value (SYS) and permitted to drop below the diastolic pressure value (DIA). The pressure pulses occur in both the inflating and deflating periods. The dashed line represents the envelope of the pressure pulses, e.g. the oscillometric envelope.

Merilnik zajema oscilometrične pulze in iz njih oceni sistolično in diastolično vrednost krvnega tlaka. Določanje tlaka iz zajetih pulzov poteka s pomočjo empiričnih računskih algoritmov iz oscilometrične ovojnice (slika 2). To je tudi največja slabost oscilometrične metode, saj krvni tlak ni merjen neposredno, ampak je izračunan s pomočjo empiričnih enačb. Izdelovalci oscilometričnih naprav niso zavezani razkriti svojih računskih algoritmov, kar pomeni, da je tak merilnik nemogoče v popolnosti meroslovno ovrednotiti ali umeriti.



Slika 2: Princip delovanja oscilometričnega merilnika krvnega tlaka. Spremembe tlaka v manšeti omogočajo določanje vrednosti sistoličnega in diastoličnega tlaka. Naprava ju izračuna s pomočjo vgrajenega računskega algoritma.

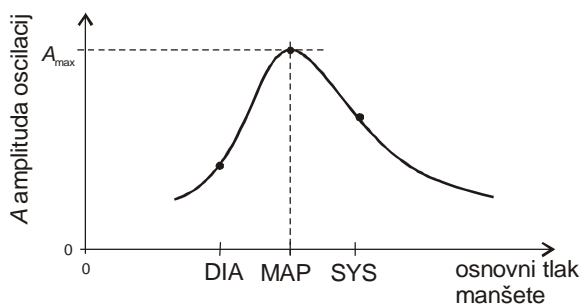
Figure 2. Principle of oscillometry. By measuring changes in cuff pressure, systolic and diastolic blood pressure are determined. Determination is performed by calculating from oscillometric envelope using a (proprietary) calculative algorithm.

2.1 Določanje krvnega tlaka iz oscilometrične ovojnice

Ugotovljeno je bilo, da tlak v manšeti pri maksimalni vrednosti oscilometrične ovojnice približno sovпада s srednjim arterijskim tlakom (mean arterial pressure, MAP). Za določanje krvnega tlaka iz oscilometrične ovojnice se uporablja več različnih algoritmov, ki pa so ponavadi komercialni in javnosti nedostopni. Najpogosteje je uporabljena ena izmed različic dveh osnovnih algoritmov, ki temeljita ravno na merjenju MAP; amplitudni in diferencialni algoritem [6].

Pri amplitudnem algoritmu je sistolični tlak (SYS) določen kot tlak v manšeti, ki je večji od MAP in pri katerem je razmerje amplitude proti amplitudi MAP enako vnaprej določenemu faktorju. Ta faktor je znan kot sistolično razmerje in ima vrednosti okoli 0,8. Podobno je diastolični tlak (DIA) določen kot tlak v manšeti, ki je manjši od MAP in pri katerem je razmerje amplitude proti amplitudi MAP enako vnaprej določenemu diastoličnemu razmerju, ki je tipično okoli 0,5. Obe razmerji sta odvisni od geometrije in izdelave manšete, hitrosti praznjenja manšete ipd. in sta določeni empirično [6].

Pri diferencialnem algoritmu opazujemo naklon amplitudne krivulje v odvisnosti od manšetnega tlaka. Maksimalni in minimalni odklon amplitude določata DIA in SYS tlak. Lahko sta določena tudi z ekstremoma časovnega odvoda ovojnice oscilacij, kjer je MAP določen kot točka z odvodom nič.



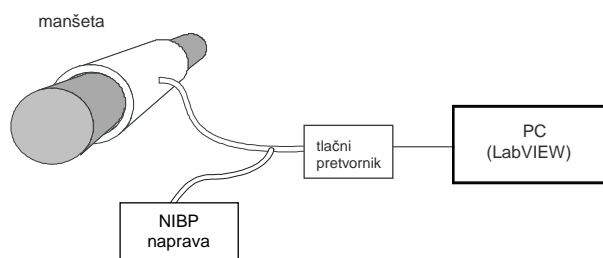
Slika 3: Oscilometrična ovojnica- ovojnica tlačnih oscilacij v odvisnosti od osnovnega tlaka v manšeti

Figure 3. Pressure oscillations envelope versus the cuff pressure and characteristic parameters (DIA, SYS, MAP).

2.2 Navidezni instrument za zajemanje oscilometričnih ovojnic

Za zajemanje oscilometričnih ovojnic smo zgradili navidezni instrument v okolju LabVIEW. Instrument je bil zgrajen s primernim tlačnim pretvornikom in dovolj hitrim sistemom za vzorčenje električnega izhoda pretvornika (slika 4). Srčni utrip ima tipično frekvenco okoli 1 Hz, zato izbira sistema za vzorčenje ni bila zahtevna. Uporabili smo tlačni pretvornik XFPM

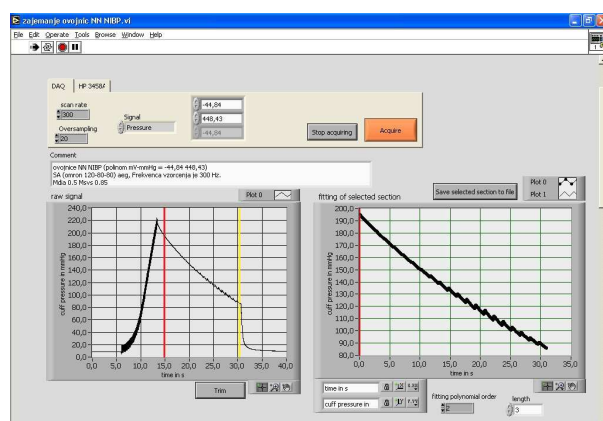
050KPG-P1 (Fujikura). S pomočjo A/D vzorčevalne kartice SCB-100TT (National Instruments) smo zajemali napetostni izhod pretvornika in v programu v okolju LabVIEW obdelali zajeti signal. Izhod programa je bila matrika ovojnice tlačnih pulzov, vzorčena s frekvenco 300 Hz, v odvisnosti od tlaka v manšeti, to je oscilometrična ovojnica, ki je osnova za vse algoritme oscilometrične metode merjenja krvnega tlaka.



Slika 4: Sistem za zajemanje oscilometričnih ovojnic

Figure 4. Set-up for acquiring the oscillometric envelopes.

Manšeta sistema za zajemanje oscilometričnih ovojnic je bila ovita okoli uda pacienta (sivi valj na sliki 4) in pnevmatično povezana s tlačnim pretvornikom. Vzorčevalna kartica v osebni računalniku je prek tlačnega pretvornika zajemala tlačne impulze v manšeti, medtem ko je osnovni tlak manšete padal od vrednosti nad SYS proti vrednostim pod DIA krvnim tlakom. Komercialna NIBP naprava je bila vključena v sistem, da je napihovala in praznila manšeto.

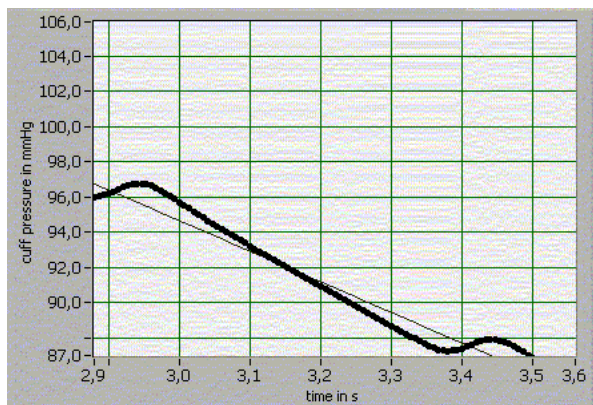


Slika 5: Čelna plošča navideznega instrumenta za zajemanje oscilometričnih ovojnic. Na levem grafu je časovna odvisnost tlaka v manšeti, na desnem pa del, ki nosi informacijo o SYS in DIA tlaku.

Figure 5. Front panel of the virtual instrument for acquiring the oscillometric envelopes. Time series of the cuff pressure is shown in the left-hand graph, on the right-hand the region of interest is selected (the region carrying the SYS and DIA information).

3 Rezultati

Izdelani sistem za zajemanje oscilometričnih ovojnic smo preizkusili z meritvami na zdravih prostovoljcih in na simulatorju. Simulator je elektromehanski generator tlačnih impulzov, ki v odvisnosti od osnovnega tlaka v manšeti generira oscilometričnim podobne impulze [7, 8, 9, 10]. Namenjen je simuliranju fizioloških signalov. Uporabili smo simulator AccuePulse (Clinical Dynamics).

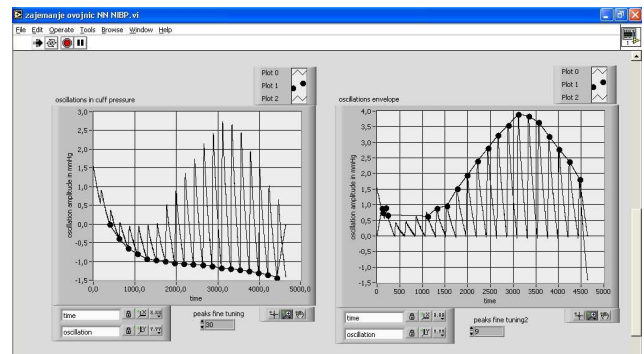


Slika 6: Polaganje polinomske krivulje, ki predstavlja osnovni tlak v manšeti (tanka črta) na zajeti signal (močna črta). Na sliki sta prikazana dva oscilometrična pulza.

Figure 6. Fitting the cuff pressure curve (thin line represents polynomial fit). The solid line represents the raw acquired signal (two oscillation peaks showed).

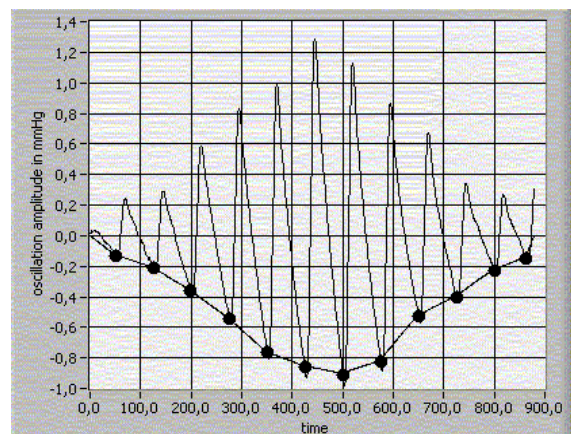
Izmerjeni podatki so bili obdelani v navideznem instrumentu. V prvem delu je omogočeno odstranjevanje artefaktov in napak, ki so nastale med zajemanjem, v drugem pa filtriranje tlačnih oscilacij iz osnovnega tlaka manšete s pomočjo preproste odštevalne metode. Osnovni tlak v manšeti smo opisali s polinomsko funkcijo (slika 6) in ga odšteli od celotnega zajetega signala. Rezultat so bili tlačni pulzi oziroma oscilacije (slika 8).

V navidezni instrument je bila vključena tudi možnost sočasnega prilagajanja parametrov računskega algoritma in filtrov, s čimer smo lahko izključili napake zaradi nepravilnega zajemanja podatkov, artefakte zaradi premikanja ali nehotenega tresenja med merjenjem.



Slika 7: Čelna plošča navideznega instrumenta za zajemanje oscilometričnih ovojnic. Na sliki je prikazan del, v katerem poteka ročna obdelava signala (izločanje napačnih meritev, glajenje ovojnice itd).

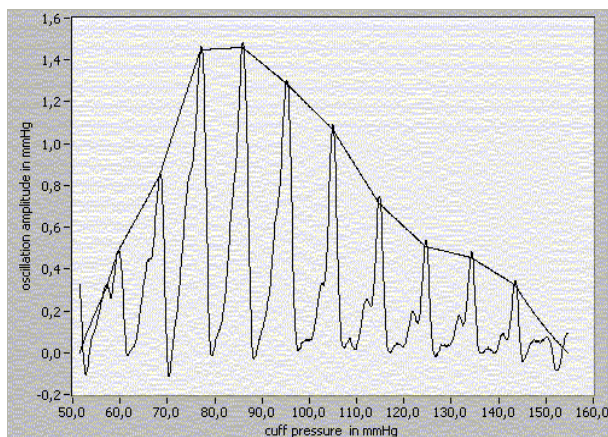
Figure 7. Front panel of the virtual instrument for acquiring the oscillometric envelopes. In-time conditioning of the pressure pulse envelope shape is shown on graphs.



Slika 8. Graf tlačnih oscilacij (v mmHg) v odvisnosti od časa (v desetinah milisekund).

Figure 8. Resulting graph of the oscillations amplitude versus time (in tens of milliseconds) after subtraction of the negative cuff pressure ramp from the raw signal and before the conditioning process.

Ponavadi lahko iz tlačnih pulzov v manšeti tvorimo oscilometrično ovojnico na različne načine; v obliki temensko-dolinske oscilacijske amplitude (peak-to-peak amplituda), v obliki funkcije časovnega integrala tlačnih pulzov ali pa v obliki temenske vrednosti oscilacij [11]. V našem primeru smo se zaradi preprostosti odločili za prvi način.



Slika 9: Graf tlačnih oscilacij v odvisnosti od osnovnega tlaka v manšeti pri merjenju zdrave osebe. Iz tega grafa s pomočjo empiričnega računskega algoritma določimo SYS in DIA.

Figure 9. Digital envelope detection of a healthy person's blood pressure measurement. Using a calculative algorithm, the SYS and DIA are determined.

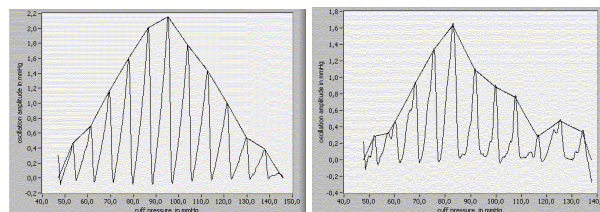
4 Sklep

Oscilometrična ovojnica je osnova vsakega neinvazivnega merjenja krvnega tlaka z oscilometrično metodo. Iz nje s pomočjo različnih računskih algoritmov lahko določimo sistolični (SYS) in diastolični (DIA) tlak merjene osebe. Najpreprostejši algoritmi izmerijo temensko vrednost ovojnice, ki je merilo za srednji arterijski tlak (MAP). S pomočjo tega lahko izračunamo vrednosti krvnega tlaka. Kakovostni avtomatski oscilometrični merilniki so se izkazali kot zelo preprosti za uporabo, zanesljivi in tudi točni, a večkrat selektivno preobčutljivi na pogoje merjenja in specifično fiziološko stanje pacienta. Oscilometrična metoda je namreč sicer preprosta in zanesljiva, a občutljiva na nehotene in hotene premike merjenca, fiziološko stanje njegovega krvožilnega sistema (posebno srčne aritmije in starostno poapnenje žil), namestitvev in lastnosti manšete itd.

Sistem za zajemanje ovojnice omogoča študij in ovrednotenje različnih empiričnih algoritmov oscilometričnih naprav. Pri naših prvih testiranjih se je sistem izkazal kot koristno orodje za parametrično analizo iskanja optimalne vrednosti sistoličnega in diastoličnega razmerja pri določanju SYS in DIA s pomočjo amplitudne metode. Omogočil je analizo vpliva oblike oscilometrične ovojnice na merilni pogrešek. Z njegovo pomočjo smo dokazali, da mora biti za točne meritve izpuščanje zraka iz manšete počasnejše od 10 mmHg/s. Le tako je sistem lahko zajel večje število tlačnih pulzov v istem času merjenja, kar je omogočalo bolj točno določanje oscilometrične ovojnice in posledično točnejše določanje krvnega tlaka.

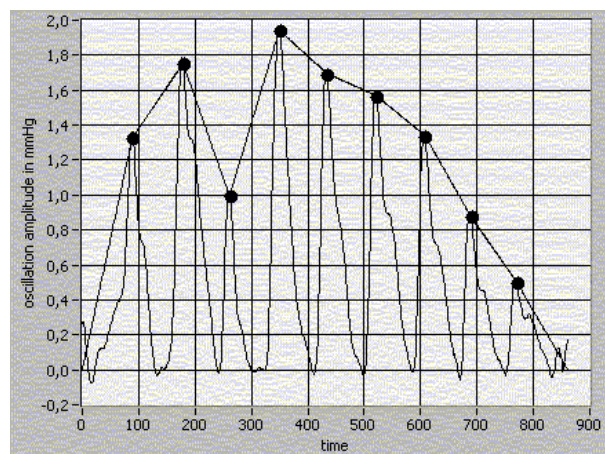
Lahko povzamemo, da je za izdelavo bolj zanesljivih in točnih neinvazivnih merilnikov krvnega

tlaka študij oscilometričnih ovojnica potreben. Poleg tega so lastnosti oscilometričnih ovojnica pomembne za delovanje merilnikov krvnega tlaka v ekstremnih razmerah (ekstremna hipertenzija, aritmije, arterioskleroza) ter za načrtovanje in ovrednotenja novih metod in algoritmov (sliki 10 in 11).



Slika 10: Primerjava dveh ovojnica – leva je »umetna« ovojnica oscilacij, generiranih s simulatorjem, desna pa naravna fiziološka ovojnica pri merjenju krvnega tlaka zdrave osebe [10]

Figure 10. Oscillation envelope shape when measuring output of a patient simulator or a healthy person (right) [10].



Slika 11: Primer nepravilno izmerjene oscilometrične ovojnice. Zaradi napake med zajemanjem je bil MAP določen nepravilno. Posledično sta bila SYS in DIA določena z velikimi pogreški.

Figure 11. Example of a non-regular envelope gained by a real person's blood pressure measurement. In this case the MAP was not determined correctly thus resulting in large errors when measuring SYS and DIA.

Literatura

- [1] C. Lawrence, Physiological apparatus in the Wellcome Museum. 1. The Marey sphygmograph, *Med. Hist.* 22(2), 1978.
- [2] L. A. Geddes, *The direct and indirect measurement of blood pressure*, Year Book Medical Publishers, Inc., USA, 1970.
- [3] N.M. Kaplan, E. Lieberman, *Kaplan's Clinical Hypertension*, Lippincott Williams & Wilkins, 8th edition, 2002.

- [4] L. Butani, B. Z. Morgenstern, "Are pitfalls of oscillometric blood pressure measurements preventable in children?", *Pediatr Nephrol*, 18: 313-318, 2003.
- [5] Directive 2007/51/EC of the European Parliament and of the Council amending Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing of certain measuring devices containing mercury, *Official Journal of the European Union*; 2007.
- [6] J. Y. Lee, J. K. Kim and G. Yoon, "Digital envelope detector for blood pressure measurement using an oscillometric method", *Journal of Medical Engineering & Technology*, 26(3): 117-122, 2002.
- [7] K-G Ng, Review of Methods & Simulators for Evaluation of Noninvasive Blood Pressure Monitors, *J Clin Eng* 17:469-479, 1992.
- [8] J.N. Amooore, W.B. Geake, B. Eng, An Evaluation of Three Oscillometric Non-Invasive Blood Pressure Simulators, *J Clin Eng* 22:93-99, 1997.
- [9] A.J. Sims, C.A. Reay, D.R. Bousfield. et al, Oscillometric blood pressure devices and simulators: measurements of repeatability and differences between models, *J Med Eng & Technol* 29(3):112-118, 2005.
- [10] G. Geršak, J. Drnovšek, Evaluation of non-invasive blood pressure simulators, *11th Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2007, 26-30 June, 2007, Ljubljana, Slovenia*, 342-345, 2007.
- [11] K. G. Ng, A basis for use of long cuff bladders in oscillometric blood pressure measurement, *Journal of Clinical Engineering*, 21(3): 226-244, 1996.

Gregor Geršak je doktoriral leta 2003 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegovo raziskovalno področje obsega precizijsko merjenje magnetnih polj zračnih tuljav, predvsem merjenje gostote magnetnega pretoka z uporabo jedrske magnetne resonance. V zadnjih letih se ukvarja s teorijo merjenja, termometrijo, merjenjem tlaka in metrologijo medicinske instrumentacije s poudarkom na napravah za neinvazivno merjenje krvnega tlaka.