

Vpliv različnih predstavitev oscilometričnega indeksa na avtomatsko določanje krvnega tlaka

Vojko Jazbinšek, Janko Lužnik, Zvonko Trontelj

Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Jadranska 19, Ljubljana

E-pošta: vojko.jazbinsek@imfm.uni-lj.si

Influence of different representations of oscillometric index on automatic determination of blood pressure

Most automated non-invasive blood pressure (NIBP) measuring devices use the oscillometric technique based on some empirically derived criteria applied to the so-called oscillometric index [1,2], defined as a certain characteristic physical property of the arterial pressure pulses. The aim of this study is to evaluate the influence of different representations of the oscillometric index on known height based (HB) and slope based (SB) empirical algorithms for automatic determination of systolic (SP) and diastolic (DP) blood pressures.

In addition to the arterial pressure pulses, which is a typical physical property used for the oscillometric index, we also used in this study other properties such as a time derivative and an audible part of data measured by a microphone implanted in the cuff (Korotkoff sounds) [3]. Three different oscillometric index curves can be constructed using minimal (MIN), centre of gravity (COG) and maximal (MAX) envelopes of each type of physical property: a) MIN-to-MAX, b) MIN-to-COG and c) COG-to-MAX. We evaluated different representations of the oscillometric index on 92 measurements performed on 23 healthy subjects. Estimations of SP and DP obtained by the HB and SB algorithms were compared with the reference SP and DP measured with the commercial NIBP device.

We found that the HB method can be applied to the envelopes that exhibit a rapid change of amplitudes around DP or SP. The oscillometric index represents a non-monotonic function due to the beat-to-beat variability of the pulse amplitude, artefacts, etc. Therefore the derivative of the oscillometric index has many local extrema and we had to apply some constraints for estimation of SP and DP to improve the prognostic value of the SB algorithm. The results showed that for both algorithms the best results were obtained by using MIN-to-MAX envelope of the pressure pulses as the oscillometric index.

1 Uvod

Večina naprav za avtomatsko neinvazivno merjenje krvnega tlaka (angl., non-invasive blood pressure - NIBP) uporablja oscilometrično tehniko merjenja [1,2]. Ta tehnika temelji na empiričnih kriterijih, ki jih uporabimo na tako imenovanem oscilometričnem

indeksu, ki je definiran kot ovojnica neke fizikalne lastnosti arterijskih tlačnih utripov, ki jih posnamemo v NIBP napravi. Cilj tega prispevka je določiti, kako različne predstavitve oscilometričnega indeksa vplivajo na vrednosti sistoličnega (SP) in diastoličnega (DP) tlaka, ki ju določimo iz znanih algoritmov, kot sta amplitudna metoda (AM) in metoda največje strmine (NS) [2].

Poleg arterijskih tlačnih utripov, ki jim pravimo tudi oscilometrični utripi in so običajna fizikalna lastnost, ki se uporablja za oscilometrični indeks, smo v tem delu preizkusili tudi druge lastnosti, kot sta časovni odvod izmerjenih tlačnih podatkov in slišni del podatkov (Korotkovi zvoki) [3], ki smo jih posneli s posebnim mikrofonom vstavljenim v manšeto. Za vsako fizikalno lastnost smo generirali tri različne predstavitve oscilometričnega indeksa, ki smo jih ovrednotili na 92 posnetkih izmerjenih na 23 zdravih prostovoljcih.

2 Metode

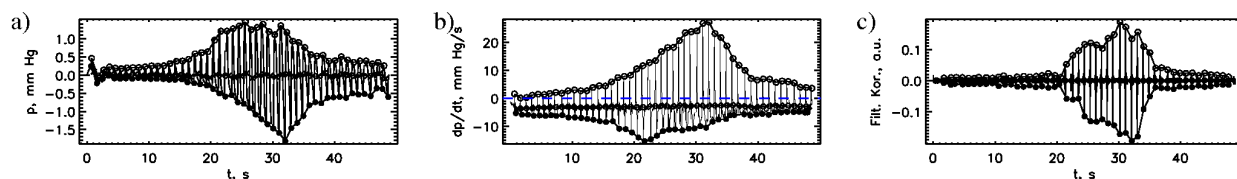
2.1 Meritve

Meritve smo opravili na napravi, ki so jo za potrebe evropskega projekta »Simulator for NIBP« naredili v nizozemskem podjetju LODE iz Groningena [4]. Način merjenja je podrobneje opisan v [5]. Naprava omogoča merjenje tlačnih sprememb v manšeti in zvočnih signalov z mikrofonom, ki je vstavljen v manšeto. Poleg tega smo na isto manšeto priključili še komercialno napravo OSZ4 podjetja Welch Allyn za avtomatsko določitev krvnega tlaka, ki je namenjena za uporabo na domu.

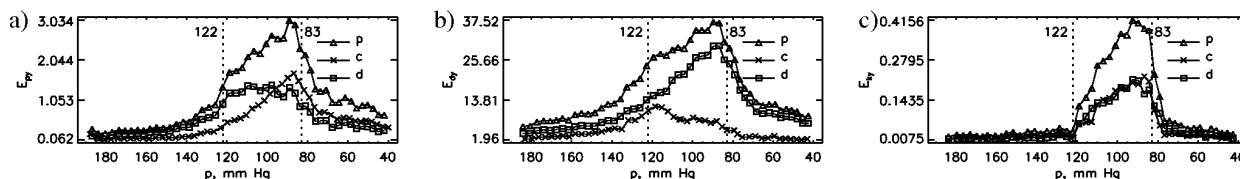
V ovrednotenje oscilometričnih oblik ovojnic (tlačni utripi in njihovi časovni odvodi) smo vključili 92 posnetkov, ki smo jih naredili na 23 prostovoljcih. Kvaliteta mikrofonskih podatkov je bila velikokrat zelo slaba, zato smo pri ovrednotenju slišnih (Korotkovih) ovojnic upoštevali le 32 posnetkov.

2.2 Oscilometrični indeks

Oscilometrični indeks je v splošnem definiran kot ovojnica neke v NIBP napravi izmerjene fizikalne lastnosti v odvisnosti od tlaka v manšeti [2]. V [5] smo naredili obširno raziskavo signalov, ki jih lahko zaznamo med NIBP meritvami. Ti signali vključujejo spremembe tlaka v manšeti zaradi utripanja krvnega tlaka v arterijah in odzive, ki jih zaznamo z mikrofonom vgrajenim v manšeto. Uporabili smo različne postopke,



Slika 1. Podatki, ki jih dobimo iz NIBP naprave: a) oscilometrični utripi, ki jih izluščimo z digitalnim filtriranjem [0.3-40 Hz] izmerjenih tlačnih podatkov, b) časovni odvod teh podatkov in c) slišni del [10-40 Hz] mikrofonskih podatkov. Prazni krogi označujejo maksimalne (MAX) vrednosti, polni krogi minimalne (MIN) in križci težišča (TEŽ) posameznih utripov.



Slika 2. Različne predstavitve oscilometričnega indeksa, ki jih dobimo iz podatkov na sliki 1: a) oscilometrični utripi, b) časovni odvod in c) slišni del mikrofonskih podatkov. Za vsak tip podatkov lahko kreiramo tri oscilometrične indekse (glej tabelo 1).

Tabela 1. Opis oscilometričnih indeksov E_{xy}

x	Fizikalna lastnost
p	oscilometrični utripi ali filtrirani NIBP podatki [0.3-40 Hz]
d	časovni odvod NIBP podatkov
k	Kortkovi zvoki (slišni del mikrofonskih podatkov [10-40 Hz])
y	Tip ovojnice
p	amplituda ali MIN ^a -do-MAX ^b vrednost
c	centrirana ali MIN-do-TEŽ ^c vrednost
d	razlika med p and c ali TEŽ-do-MAX vrednost
^a MIN - minimalna vrednost vsakega utripa	
^b MAX - maksimalna vrednost vsakega utripa	
^c TEŽ - težiščna vrednost vsakega utripa	

Tabela 2. Povprečne RS_{xy} in RD_{xy} in SD za 92 meritev

E_{xy}	$RS_{xy} \pm SD$	$RD_{xy} \pm SD$
E_{pp}	0.45 ± 0.07	0.70 ± 0.10
E_{pc}	0.24 ± 0.07	0.75 ± 0.10
E_{pd}	0.62 ± 0.10	0.57 ± 0.10
E_{dp}	0.68 ± 0.09	0.82 ± 0.11
E_{dc}	0.82 ± 0.16	0.49 ± 0.14
E_{dd}	0.53 ± 0.08	0.83 ± 0.11
E_{kp}^*	0.12 ± 0.12	0.44 ± 0.20
E_{kc}^*	0.12 ± 0.12	0.45 ± 0.19
E_{kd}^*	0.11 ± 0.12	0.42 ± 0.23

*Reducirana baza z 32 meritvami

s katerimi smo iz posnetih tlačnih signalov ločili puščanje tlaka v manšeti od oscilometričnih utripov. Z digitalnim filtriranjem smo razdelili posnete signale iz mikrofona na slišni del (Kortkovi zvoki) [3] in na nizko-frekvenčni del, za katerega se je izkazalo, da je zelo podoben signalu, ki ga dobimo z odvajanjem oscilometričnih utripov po času. Tipični rezultati za eno od meritev so prikazani na sliki 1. V tem delu smo poleg arterijskih tlačnih utripov (slika 1a), ki so najbolj tipična fizikalna lastnost, ki se uporablja kot oscilometrični indeks, preizkusili tudi druge lastnosti kot sta časovni odvod izmerjenih tlačnih podatkov (slika 1b) in slišni del podatkov izmerjenih z mikrofonom (slika 1c). Za vsako od fizikalnih lastnosti lahko iz minimalnih (MIN), težiščnih (TEŽ) in maksimalnih (MAX) točk posameznih srčnih utripov, sestavimo tri različne oblike oscilometričnega indeksa, ki so prikazane na sliki 2 in opisane v tabeli 1. Oscilometrični indeksi bomo v tem delu označevali z E_{xy} in normalizirano vrednost z $\|E_{xy}\|$.

Najpogosteje se za oscilometrični indeks uporablja ovojnica amplitud oscilometričnih utripov med minimumom in maksimumom (E_{pp}), ki jo prikažemo v odvisnosti od tlaka v manšeti (slika 2a). Za amplitude oscilometričnih utripov bi pričakovali, da monotonno naraščajo do nekega maksimuma, zanj je splošno

sprejeto [2], da ustreza srednji vrednosti krvnega tlaka (MP), in potem monotonno padajo. Vendar realne meritve kažejo drugačno sliko. Na nemonotono spreminjanje amplitud tlačnih utripov vpliva deloma že sama variabilnost srčnih utripov, deloma pa razne zunanje motnje [6]. Zaradi te nemonotonosti ima tudi odvod ovojnice amplitud več lokalnih ekstremov. Zato smo za avtomatsko določitev SP in DP po metodi NS upoštevali razne omejitve. Na primer, za določitev SP iščemo največjo strmino pri tlakih, ki so vsaj 15 mm Hg nad MP in hkrati velja, da je vrednost normaliziranega oscilometričnega indeksa $\|E_{xy}\|$ manjša od 0.6, pri DP pa omejimo iskanje na tlake, ki so vsaj 2 mm Hg pod MP in je hkrati $\|E_{xy}\|$ manjši od 0.9. Za avtomatsko določitev SP in DP vrednosti z AM metodo moramo najprej določiti karakteristični razmerji amplitud RS_{xy} in RD_{xy} , ki sta enaki $\|E_{xy}\|$, ko je tlak v manšeti enak SP in DP. Ti vrednosti se razlikujeta za vsak tip E_{xy} . Za ovrednotenje AM metode smo najprej določili povprečne RS_{xy} in RD_{xy} iz znanih SP in DP, ki smo jih izmerili z OSZ4 napravo. Rezultati, ki so prikazani v tabeli 2, kažejo, da so amplitudna razmerja $RS_{xy} \ll RD_{xy}$ za večino E_{xy} , razen za E_{pd} , kjer je $RS_{pd} \approx RD_{pd}$, in E_{dc} , kjer je $RS_{dc} \gg RD_{dc}$. Vrednosti RS_{pp} in RD_{pp} sta podobni vrednostim objavljenim v literaturi (glej [2] in tamkajšnje

reference). Še najbolj so podobne tistim, ki jih je patentiral Ramsey et.al. [7], kjer so za (RS_{pp} , RD_{pp}) prijavi vrednosti enake (0.5, 0.69) za normalna in (0.45, 0.72) za hitra puščanja tlaka v manšeti. Za primer E_{pp} na sliki 2a, kjer smo z OSZ4 izmerili (SP/DP=122/83), dobimo z metodo NS (122/79), z AM metodo pa (122/81) mm Hg.

2.3 Ovrednotenje avtomatskih algoritmov

Za ovrednotenje NIBP naprav se uporabljata dva standardna protokola. Enega so objavili British Hypertension Society (BHS) [8] in drugega American Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) [9]. Pogoji za zadostitev BHS protokola zahtevajo, da NIBP naprava doseže vsaj oceno B (50% meritev se ne razlikuje več kot 5, 75% več kot 10 in 90% več kot 15 mm Hg glede na živosrebrni standard). Pogoji za zadostitev AAMI protokola zahtevajo, da testirana naprava ne odstopa od živosrebrnega standarda v povprečju absolutnih razlik ($|\Delta p|$) >5 ali v standardni deviaciji (SD) > 8 mm Hg. Živosrebrni standard se tu nanaša na SP in DP vrednosti, ki ju določi za to usposobljena oseba z avskultatorično metodo, to je s poslušanjem Korotkovih zvokov s stetoskopom in merjenjem tlaka v manšeti z živosrebrnim manometrom.

V tej študiji smo uporabili modificirano kombinacijo BHS in AAMI protokolov. Za vsak E_{xy} smo z AM in NS (z in brez omejitev) algoritmoma ocenili SP in DP vrednosti in ju primerjali z izmerjenima referenčnima vrednostima. Ker nismo medicinski laboratorij, smo namesto živosrebrnega standarda za referenco vzeli vrednosti, ki smo jih izmerili z OSZ4 napravo. Tako kot v BHS protokolu smo rezultate razvrstili v razrede, ki so prikazani v tabeli 3. Namesto odstotnega deleža primerov, ki padejo znotraj 5, 10 in 15 mm Hg glede na referenčne vrednosti, smo določili celotno število primerov, ki padejo znotraj 1, 3, 5, 7 in 10 mm Hg glede na odstopanje od meritev z OSZ4 napravo (absolutna razlika). Za vsak ocenjeni SP in DP smo določili klasifikacijsko vrednost oziroma oceno VPS in VPD ter iz njiju določili sestavljeno oceno VPS+PD, ki smo jo določili z naslednjo formulo, ki rezultat nagiba k slabši, v tem primeru je to večja, izmed obeh posameznih ocen

$$V_{PS+PD} = \text{round}\left(\frac{\min(V_{PS}, V_{PD}) + 4 \cdot \max(V_{PS}, V_{PD})}{5}\right). \quad (1)$$

Podobno kot v AAMI protokolu smo izračunali $|\Delta p| \pm SD$. Vključili smo tudi izračun povprečne $\Delta p \pm SD$, ki nam da povprečni odmik ocenjene vrednosti od referenčne. Poleg tega smo naredili linearno regresijsko prilagajanje med ocenjenimi in referenčnimi vrednostmi in izračunali za vsak primer linearni regresijski korelacijski količnik [10], ki odraža korelacijo med ocenjenimi in izmerjenimi SP in DP.

Tabela 3. Razvrstitev rezultatov

Razred	Vrednost	opis	absolutna razlika
A	1	odlično	0 or 1 mm Hg
B	2	zelo dobro	2 or 3 mm Hg
C	3	dobro	4 to 5 mm Hg
D	4	približno	6 to 7 mm Hg
E	5	slabo	8 to 10 mm Hg
F	6	neuspešno	več kot 10 mm Hg

3 Rezultati in razprava

Tabela 4 prikazuje nekaj parametrov za ovrednotenje AM metode: C - celotno število primerov, ki so razvrščeni vsaj dobro (do 5 mm Hg razlike med ocenjeno in izmerjeno SP in DP), F - število neuspešnih primerov (razlika več kot 10 mm Hg), r - linearni regresijski korelacijski količnik, $\Delta p \pm SD$ - povprečna razlika in njena standardna deviacija v mm Hg, $|\Delta p| \pm SD$ - povprečna absolutna razlika in njena SD v mm Hg in Δp_m - maksimalna razlika v mm Hg. Rezultati kažejo, da dobimo najboljše ujemanje SP in DP vrednosti z referenčnimi za oscilometrične utripe E_{py} , še posebej za E_{pp} , kjer ni neuspešnih primerov in je večina od 92 primerov razvrščena kot dobra, to je 87 za SP in 86 za DP. Če primerjamo rezultate za SP in DP, so ostali parametri za ovrednotenje E_{pp} precej podobni: 0.953 proti 0.954 (r), 0.13 \pm 3.0 proti -0.56 \pm 2.5 ($\Delta p \pm SD$), 2.2 \pm 1.9 proti 1.8 \pm 1.8 ($|\Delta p| \pm SD$) in 10 proti 8 (Δp_m). Tudi rezultati za Korotkove indekse E_{ky} so dokaj dobri. Najboljše ocene SP dobimo z E_{kp} (C=26 od 32, F=1, $r=0.87$, $\Delta p=-1.8\pm 4.3$, $|\Delta p|=3.7\pm 2.7$ in $\Delta p_m=-11$) in najboljše ocene DP dobimo z E_{kc} (C=31, F=0, $r=0.965$, $\Delta p=-0.2\pm 2.0$, $|\Delta p|=1.5\pm 1.3$ in $\Delta p_m=8$). Za ostale indekse klasifikacijski rezultati niso tako obetavni, še posebno za SP, medtem ko so DP ocene še vedno dokaj dobre za E_{dp} in E_{dd} oblike indeksov.

Tabela 5 prikazuje klasifikacijske rezultate za NS metodo. Primerjava rezultatov za oscilometrične utripe E_{py} za NS metodo jasno kaže, da dobimo boljše ocene za SP, kadar uporabljamo omejitve. Če uporabimo omejitve pri NS metodi, dobimo za E_{pp} 82 dobrih primerov in le 5 neuspešnih, medtem ko dobimo le 48 dobrih primerov in kar 35 neuspešnih, ko teh omejitev ne uporabimo. Na drugi strani omejitve ne izboljšajo ocen za DP. Za E_{pp} in E_{pc} dobimo malce boljše rezultate brez omejitev, za E_{pd} pa malce boljše z omejitvami. Rezultati za indekse iz časovnih odvodov E_{dy} kažejo, da NS metoda ni uspešna za SP iz E_{dd} (59 neuspešnih primerov) in za DP iz E_{dc} (60 neuspešnih). Na drugi strani dobimo kar dobre rezultate za Korotkove indekse E_{ky} , še posebej za DP. Za SP je za (E_{kp} , E_{kc} , E_{kd}) indekse od 32 primerov (6, 6, 7) neuspešnih in povprečne razlike Δp so enake (-5.5 \pm 4.9, -5.2 \pm 5.2, -5.9 \pm 5.1). Torej so SP, ki ji dobimo z NS metodo na E_{ky} indeksih v povprečju 5-6 mm Hg manjši kot izmerjeni SP z OSZ4 napravo.

Tabela 4. Povzetek rezultatov ovrednotenja za AM metodo.

E_{xy}	Tip	C	F	r	$\Delta p \pm SD$	$ \Delta p \pm SD$	Δp_m
E_{pp}	SP	87	0	0.953	0.13 ± 3.0	2.2 ± 1.9	10
	DP	86	0	0.954	-0.56 ± 2.5	1.8 ± 1.8	8
	SP+DP	85	0	0.992	-0.22 ± 2.8	2.0 ± 1.9	10
E_{pc}	SP	84	1	0.89	0.15 ± 5.2	3.0 ± 4.3	39
	DP	89	1	0.957	-0.48 ± 2.3	1.6 ± 1.7	-11
	SP+DP	84	0	0.984	-0.17 ± 4.1	2.3 ± 3.3	39
E_{pd}	SP	77	3	0.91	0.34 ± 4.1	2.9 ± 2.9	-17
	DP	81	1	0.92	-0.45 ± 3.4	2.5 ± 2.4	-11
	SP+DP	75	1	0.986	-0.06 ± 3.8	2.7 ± 2.7	-17
E_{dp}	SP	67	10	0.63	-1.1 ± 9.8	5.1 ± 8.5	-55
	DP	78	4	0.81	-0.37 ± 6.0	3.5 ± 4.9	35
	SP+DP	65	2	0.93	-0.74 ± 8.1	4.3 ± 7.0	-55
E_{dc}	SP	55	20	0.69	1.5 ± 10	6.7 ± 8.0	-56
	DP	53	16	0.65	0.59 ± 9.0	6.5 ± 6.2	35
	SP+DP	32	11	0.92	1.0 ± 9.7	6.6 ± 7.1	-56
E_{dd}	SP	66	6	0.8	-0.93 ± 6.4	4.6 ± 4.5	-27
	DP	75	3	0.89	-1.1 ± 4.1	2.9 ± 3.1	18
	SP+DP	60	3	0.971	-1.0 ± 5.4	3.7 ± 4.0	-27
E_{kp}	SP	26	1	0.87	-1.8 ± 4.3	3.7 ± 2.7	-11
	DP	29	0	0.94	-0.24 ± 2.6	2.0 ± 1.7	7
	SP+DP	26	0	0.986	-1.0 ± 3.6	2.8 ± 2.4	-11
E_{kc}	SP	24	2	0.78	0.20 ± 6.4	4.3 ± 4.7	21
	DP	31	0	0.965	0.20 ± 2.0	1.5 ± 1.3	6
	SP+DP	25	0	0.976	0.20 ± 4.7	2.9 ± 3.7	21
E_{kd}	SP	23	2	0.83	-2.0 ± 4.9	4.1 ± 3.3	-14
	DP	27	1	0.88	-0.82 ± 4.1	3.0 ± 2.9	12
	SP+DP	21	0	0.978	-1.4 ± 4.5	3.5 ± 3.1	-14

Zanimivo je, da so odlične ocene za DP, ki jih dobimo iz E_{kc} tako z AM kot z NS algoritmom (tabela 5 in 6). Razlog, zakaj je v tem primeru metoda NS dobra, je očiten, saj hitre spremembe E_{kc} sovpadajo z največjo strmino. Na drugi strani razlog, zakaj je dobra tudi AM, na prvi pogled ni tako jasen. RD_{kc} je za ta primer (0.42) z relativno veliko SD (0.19) in iz tega ni za pričakovati dobre rezultate z AM metodo, ki uporablja fiksno razmerje amplitud. Vendar se zaradi hitre spremembe amplitud E_{kc} v okolici DP, nivo tlaka v manšeti v tem področju le počasi spreminja in AM da dobro oceno za DP. Podobno odvisnost opazimo tudi pri drugih E_{xy} .

4 Zaključki

Naredili smo študijo na 23 zdravih prostovoljcih, s katero smo ovrednotili dva znana algoritma, AM in NS, za avtomatsko določanje SP in DP, ki smo ju testirali na različnih predstavitev merskih podatkov. Za ovrednotenje smo uporabili modificirano kombinacijo AAMI in BHS standardov, ki smo jo prilagodili za naše meritve, kjer smo za referenco vzeli meritve na OSZ4 napravi. Ugotovili smo, da je AM metodo uporabna pri tistih E_{xy} indeksih, ki se hitro spreminjajo, ko je tlak v manšeti blizu SP ali DP. Takšni indeksi so primerni tudi za metodo NS, vendar moramo pri tej metodi vpeljati za določitev SP omejitve, da dobimo zadovoljive rezultate.

Literatura

[1] T. G., Pickering, et.al. Recommendations for blood pressure measurement in humans and animals, *Hypertension*, **45**: 142–161, 2005.

Tabela 5. Povzetek rezultatov ovrednotenja za metodo NS.

E_{xy}	Tip	C	F	r	$\Delta p \pm SD$	$ \Delta p \pm SD$	Δp_m
E_{pp}	SP	82	5	0.9	-0.67 ± 4.6	3.0 ± 3.6	-18
	DP	79	2	0.91	-0.68 ± 3.6	2.7 ± 2.5	-11
	SP+DP	74	1	0.983	-0.68 ± 4.2	2.8 ± 3.1	-18
E_{pc}	SP	58	20	0.76	-4.5 ± 7.5	6.2 ± 6.2	-31
	DP	80	1	0.94	-0.99 ± 3.2	2.4 ± 2.3	-11
	SP+DP	56	1	0.962	-2.7 ± 6.0	4.3 ± 5.0	-31
E_{pd}	SP	68	8	0.8	0.41 ± 6.7	4.4 ± 5.0	23
	DP	73	7	0.82	0.97 ± 5.4	3.8 ± 3.9	-20
	SP+DP	63	5	0.963	0.69 ± 6.1	4.1 ± 4.5	23
E_{pp}^*	SP	48	35	0.68	-8.1 ± 9.9	9.2 ± 8.9	-35
	DP	81	1	0.93	-0.12 ± 3.3	2.3 ± 2.3	-11
	SP+DP	44	5	0.93	-4.1 ± 8.4	5.8 ± 7.3	-35
E_{pc}^*	SP	4	85	0.74	-21 ± 7.6	21 ± 7.5	-36
	DP	86	1	0.94	-0.39 ± 2.9	2.1 ± 2.1	-11
	SP+DP	4	6	0.88	-11 ± 12	11 ± 11	-36
E_{pd}^*	SP	72	7	0.85	-1.9 ± 5.6	4.0 ± 4.3	-20
	DP	69	11	0.78	2.2 ± 6.5	4.4 ± 5.2	33
	SP+DP	59	4	0.957	0.15 ± 6.4	4.2 ± 4.8	33
E_{kp}	SP	19	6	0.83	-5.4 ± 4.9	5.6 ± 4.6	-18
	DP	30	0	0.95	0.96 ± 2.5	2.0 ± 1.8	7
	SP+DP	19	0	0.979	-2.2 ± 5.0	3.8 ± 3.9	-18
E_{kc}	SP	19	6	0.8	-5.3 ± 5.2	5.7 ± 4.7	-18
	DP	30	0	0.971	1.4 ± 1.9	1.7 ± 1.6	7
	SP+DP	20	1	0.978	-2.0 ± 5.1	3.7 ± 4.0	-18
E_{kd}	SP	18	7	0.82	-5.9 ± 5.1	6.0 ± 4.9	-18
	DP	29	0	0.93	0.61 ± 2.9	2.0 ± 2.1	-8
	SP+DP	18	1	0.976	-2.6 ± 5.3	4.0 ± 4.3	-18

* NS-metoda brez omejitev

[2] K-G. Ng, CF .Small. Survey of automated non-invasive blood pressure monitors, *Journal of Clinical Engineering*; **19**:452-475, 1994.

[3] N.C. Korotkoff. On the subject of methods of determining blood pressure. *Bull. Imperial Mil. Med. Acad. (St. Petersburg)*, **11**:365-367, 1905.

[4] European 5th framework programme "Simulator for NIBP", Grant No. G6DR-CT-2002-00706.

[5] V. Jazbinšek, J. Lužnik, Z. Trontelj. Frekvenčna analiza in prikaz signalov posnetih med neinvazivnim merjenjem krvnega tlaka. V B. Zajc, A. Trošt (ur.), Zbornik ERK 2005, vol. B: 269-272.

[6] Jazbinšek, J. Lužnik, Z. Trontelj. Zunanje motnje pri neinvazivnih meritvah krvnega tlaka. V B. Zajc, A. Trošt (ur.), Zbornik ERK 2006, vol. B.

[7] M. Ramsey, et.al., Automated mean arterial blood pressure monitor with data enhancement, U.S. patent 4,754,761, Assigned to Critikon, 1988.

[8] E. O'Brien, et.al., The British Hypertension Society protocol for the evaluation of blood pressure measuring devices, *J. Hypertens.*, vol. **11** (suppl 2): S43–63, 1993.

[9] Association for the Advancement of Medical Instrumentation, American national standard. Electronic or automated sphygmomanometers, ANSI/AAMI SP 101992. Arlington, 1993.

[10] W. Press, et.al., Numerical Recipes – The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, Cambridge, 1989.