

CZU: 616.12-008.331.1:004.42

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5681322>

O NOUĂ METODĂ DE DETERMINARE ȘI TRANSMITERE LA DISTANȚĂ A VALORILOR TENSIUNII ARTERIALE UTILIZÂND SISTEME CUFFLESS (PULSE TRANSIT TIME)

Nicolai BOTNARU

Universitatea de Stat din Moldova

Elementul-cheie al noii metode de determinare și monitorizare a tensiunii arteriale în regim Wireless, utilizată într-un prototip electronic, elaborat de autor, constă în stabilirea intervalului de timp dintre segmentul R al ECG și punctul ce coincide cu vârful undei anacrote a fotopletismogramei (PPT - puls transit time) și a posibilității corelației cu tensiunea arterială sistolică și diastolică. Metoda implică folosirea unui algoritm matematic de procesare digitală a semnalelor cu ajutorul unui sistem SoC bazat pe un controler ESP32.

Cuvinte-cheie: monitorizare la distanță, TA sistolică, TA diastolică, hipertensiune, sanogen, electrocardiogramă, fotopletismogramă, PulseTransit Time.

A NEW METHOD FOR DETERMINING AND REMOTE TRANSMISSION OF BLOOD PRESSURE VALUES USING CUFFLESS SYSTEMS (PULSE TRANSIT TIME)

The key element of the new method of determining and monitoring blood pressure in Wireless mode, used in an electronic prototype elaborated by the author is to establish the time interval between the R segment of the ECG and the point which coincides with the anacrotic wave peak of photoplethysmogram (PPT - pulse transit time) and the possibility of correlation with systolic and diastolic blood pressure. The method involves the use of a mathematical algorithm for digital signal processing, using an SoC system based on an ESP32 controller.

Keywords: remote monitoring, systolic BP, diastolic BP, hypertension, sanogen, electrocardiogram, photoplethysmogram, Pulse Transit Time.

Introducere

Conform datelor științifice ale fondatorilor sanocreatologiei [1,2], una dintre cauzele morbidității înalte a societății contemporane constă în lipsa posibilităților de monitorizare operativă și la distanță a parametrilor fiziologici ce determină sănătatea și activitatea vitală de fiecare zi, ceea ce creează dificultăți în efectuarea expeditivă și adecvată a măsurilor de recuperare a dereglărilor funcționale; în rezultat, dereglările fiziologice obțin caracter morbid.

Monitorizarea stării fiziologice a organismului la distanță se consideră una dintre cele mai efective posibilități de soluționare a problemei sănătății, deoarece, solicitate de medicina contemporană și de sanocreatologie, numai în așa caz este posibilă organizarea operativă și la timp a asistenței medicale în favoarea menținerii sănătății.

Studiile interdisciplinare în fiziologie și bioinginerie privind identificarea unor parametri fiziologici ca indicatori ai activității funcționale a sistemului cardiovascular ar permite de a evidenția și caracteriza în dinamică și la distanță modificările funcționale ale acestui sistem, dar și rolul lor în menținerea relativă a sănătății somato-vegetative a organismului [3,4].

O strategie eficientă de monitorizare a dinamicii funcțiilor organelor vitale și a stării sănătății somato-vegetative poate reprezenta telemonitorizarea. Parametrii informativi pot fi folosiți pentru monitorizarea preventivă a stării organismului. Obligatoriu de a fi monitorizate sunt: frecvența contracțiilor cardiace (FCC), frecvența respirației (FR), a presiunii arteriale (TA), temperatura corpului și saturația sângelui cu oxigen (SpO₂) [5].

Unii autori [6,7] confirmă că folosirea tehnologiilor moderne ce integrează tehnologii de tipul rețele de senzori fără fir, pentru monitorizarea la distanță a unor parametri vitali, poate diminua ponderea mortalității cauzate de maladiile sistemului cardiovascular până la 70%, comparativ cu monitorizarea în spital [8].

Indiscutabil, folosirea eficientă și corespunzătoare a serviciilor de telemedicină prezintă o resursă importantă pentru sistemele de sănătate ce se vor reconfigura după criza produsă de pandemia COVID-19. Actualmente, multe clinici folosesc deja telemedicina, considerând că aceasta este medicina viitorului. Pandemia încă o dată a atestat opțiunea telemedicinii drept cale principală de dezvoltare a medicinei practice [9].

Conform datelor prezentate de OMS, numărul de persoane care prezintă simptome de hipertensiune a crescut de la 600 milioane la 1 miliard în anul 2008 [10].

Presiunea arterială reprezintă un parametru evaluat frecvent (pe cale noninvazivă), deoarece se face cu ușurință și oferă date relevante despre activitatea cardiacă. Este un parametru utilizat în multe sisteme de telemonitorizare, existând pe piață variate modele de aparate utilizabile la domiciliu pentru prelevarea presiunii arteriale. O monitorizare continuă a valorilor presiunii arteriale oferă o acuratețe diagnostică net superioară înregistrărilor realizate ocazional, odată cu internarea/controlul medical al pacientului. Mai mult, această înregistrare permite diagnosticarea exactă a tipului de hipertensiune și prescrierea medicației antihipertensive [11].

Material și metode

Cercetările au fost realizate în anii 2016-2020 în cadrul Laboratorului Fiziologia Stresului, Adaptării și Sanocreatologiei Generale al Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie și în cadrul Serviciului Medical al Ministerului Afacerilor Interne.

Scopul cercetărilor efectuate constă în elaborarea metodei noninvazive de determinare și monitorizare la distanță a tensiunii arteriale sistolice și diastolice, ce se bazează pe extragerea PTT pentru stabilirea posibilității corelației cu tensiunea arterială sistolică și diastolică utilizând semnalele electrocardiografice și fotopletiografice. Metoda este preconizată ca un modul al unui sistem de telemonitorizare a activității funcționale a sistemului cardiac și preventiv de reflectare relativă a stării sănătății somato-viscerale a organismului în dinamică.

Partea de achiziție a biosemnalelor este asigurată de modulul specializat MAX30100 de la Maxim Integrated, care conține sistemul optic și electronic necesar pentru achiziția semnalului. Comunicarea cu microcontroler ESP32 se realizează în baza interfeței I2C. Modulul ECG prototipului elaborat se bazează pe un circuit integrat ADS1292R, special destinat măsurării biopotențialelor cu o rezoluție de 24 de biți. Microcipul ADS1292R face parte din categoria de circuite AFE (analog front-end) ce reprezintă circuite integrate special destinate pentru achiziționarea și condiționarea semnalelor electrofiziologice, cu gabarite reduse și consum redus de energie pentru aplicații miniaturizate portabile cu costuri reduse pentru realizare.

Veridicitatea rezultatelor obținute a fost demonstrată prin analiza semnalelor ECG și PPG, precum și a tensiunii arteriale, care au fost prelevate pe un lot de 10 indivizi. Valoarea PTT a fost estimată prin determinarea intervalului de timp în care controlerul contorizează între vârful unde R și vârful unde pletismografice.

Stabilirea coeficienților de corelație dintre tensiunea arterială și PTT s-a efectuat cu ajutorul tehnicilor de statistică. Coeficienții s-au stabilit în baza graficului de calibrare care se formează în baza dependenței dintre PTT și presiunea arterială (Fig.1).

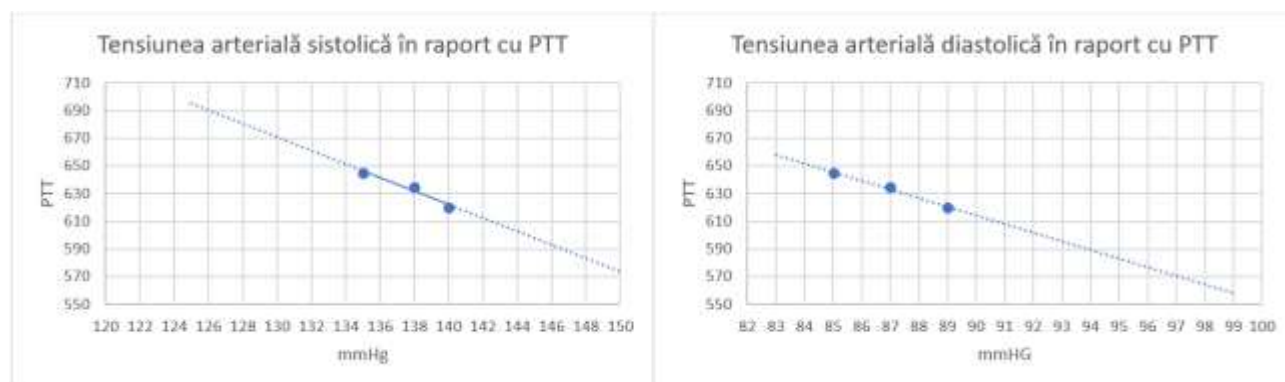


Fig.1. Graficul regresiei liniare a dependenței TA de PTT.

Pentru comparare s-a efectuat colectarea datelor cu ajutorul prototipului elaborat și al tonometrului automat OMRON M2 Classic Intellisense în regim real concomitent cu prelevarea semnalelor ECG și PPG. Pacientului în poziție așezată i se aplică manșeta pe braț la nivelul inimii, iar pe torace se plasează electrozii de culegere a semnalului ECG. Tonometrul și prototipul s-au plasat pe brațe diferite pentru a se evita stagnarea circulației care este indispensabilă în procesul de prelevare a fotopletiografiei. Procedura de măsurare durează cca 30 de minute, timp în care s-au efectuat 6 măsurări cu un interval de 5 minute pentru a permite restabilirea circulației sanguine la valori normale.

Folosind algoritmul matematic s-a determinat timpul între cele două puncte caracteristice și valorile viabile. Datele obținute sunt înscrise în memoria microcontrolerului, ulterior s-a determinat valoarea medie pentru fiecare 100 de valori; astfel, durata de determinare fiind de 1-2 minute. Următoarele 3 măsurări sunt preluate de unde, se extrage valoarea medie care este introdusă în tabelul de valori. În baza datelor obținute s-a calculat media, devierea standard și acuratețea algoritmului.

Rezultate și discuții

Hipertensiunea arterială (HTA) reprezintă o importantă problemă de sănătate publică, fiind cea mai frecventă boală cardiovasculară. Valorile care depășesc 140/90 mmHg, indiferent de vârsta pacientului, sunt clasificate ca HTA. În fiecare ciclu cardiac, tensiunea arterială variază între tensiunea arterială sistolică și tensiunea arterială diastolică. Nivelul normal de TA pentru adulții sănătoși se menține între 120 mmHg (TA sistolic) și 80 mmHg (TA diastolic).

În rezultatul analizei semnalelor ECG și PPG, s-a stabilit corelația dintre tensiunea arterială sistolică și diastolică măsurată și valoarea PTT, care s-a obținut în intervalul de timp între vârful unde R și vârful unde pletismografice. Rezultatele sunt expuse în tabelul ce urmează.

Tabel

Valoarea medie comparativă măsurată cu ajutorul prototipului și al tonometrului

Subiect	Modelul regresiei TA sistolică	Valoarea medie TA prototip algoritmul PTT	Valoarea medie TA măsurată (OMRON)	Eroarea (%)	Devierea presiunii	Media	Sex	Acuratețea (%)
1	2	3	4	5	6	7	7	
I	$y = -0.06 \times PTT + 150$	$TA_{sist} = 141$	$TA_{sist} = 137$	2,91	4	139	M	97,0
		$TA_{diast} = 89$	$TA_{diast} = 88$	1,13	1	88,5		98,8
II	$y = -0.055 \times PTT + 163$	$TA_{sist} = 129$	$TA_{sist} = 127$	1,57	2	128	M	98,4
		$TA_{diast} = 89$	$TA_{diast} = 87$	2,29	2	88		97,7
III	$y = -0.07 \times PTT + 182$	$TA_{sist} = 140$	$TA_{sist} = 133$	5,26	7	136,5	M	94,7
		$TA_{diast} = 89$	$TA_{diast} = 85$	4,70	3	87		95,2
IV	$y = -0.065 \times PTT + 177$	$TA_{sist} = 137$	$TA_{sist} = 129$	6,20	8	133	M	93,7
		$TA_{diast} = 88$	$TA_{diast} = 83$	6,02	5	85,5		93,9
V	$y = -0.06 \times PTT + 165$	$TA_{sist} = 129$	$TA_{sist} = 131$	1,52	2	130	M	98,4
		$TA_{diast} = 80$	$TA_{diast} = 84$	4,76	4	82		95,2
VI	$y = -0.06 \times PTT + 174$	$TA_{sist} = 137$	$TA_{sist} = 128$	7,03	9	132,5	M	92,9
		$TA_{diast} = 82$	$TA_{diast} = 85$	3,52	3	83,5		96,4
VII	$y = -0.065 \times PTT + 159$	$TA_{sist} = 129$	$TA_{sist} = 125$	3,20	4	127	M	96,8
		$TA_{diast} = 85$	$TA_{diast} = 83$	2,40	2	84		97,5
VIII	$y = -0.055 \times PTT + 161$	$TA_{sist} = 128$	$TA_{sist} = 122$	4,91	6	125	M	95,0
		$TA_{diast} = 82$	$TA_{diast} = 80$	2,50	2	81		97,5
IX	$y = -0.055 \times PTT + 155$	$TA_{sist} = 123$	$TA_{sist} = 120$	2,50	3	121,5	M	97,5
		$TA_{diast} = 78$	$TA_{diast} = 75$	4,00	3	76,5		96,0
X	$y = -0.06 \times PTT + 166$	$TA_{sist} = 130$	$TA_{sist} = 126$	3,17	4	128	M	96,8
		$TA_{diast} = 80$	$TA_{diast} = 84$	4,76	4	82		95,2
Media		$TA_{sist} = 132,3$ $TA_{diast} = 8,2$	$TA_{sist} = 127,8$ $TA_{diast} = 83,4$	$TA_{sist} = 130$ $TA_{diast} = 80$		$TA_{sist} = 130$ $TA_{diast} = 80$		96,2

În rezultatul analizei statistice a datelor prelevate cu ajutorul prototipului elaborat s-a stabilit că media erorii înregistrate este de 3,83% cu o medie a devierii de $\pm 4,5$ mmHg, cu o deviație standard de 3,2 pentru presiunea sistolică.

Pentru presiunea diastolică media erorilor stabilite este de 3,61% cu o deviere medie de $\pm 0,8$ mmHg, cu o deviație standard de 3,29. Acuratețea generală este de aproximativ 96,3%.

Astfel, algoritmul matematic de extragere a tensiunii arteriale comparativ cu metoda de măsurare oscilometrică este aproximativ identic. S-a stabilit că pentru presiunea sistolică există o deviere mai mare decât pentru cea diastolică, ceea ce poate fi legat de zgomotele/artefactele care introduc o variabilă de timp suplimentară, dar și de faptul că calculul se bazează pe regresie liniară cu aproximare.

Pentru a vizualiza gradul de acuratețe s-a elaborat diagrama Bland-Altman pentru intervalul 60–150 mmHg (Fig.2).

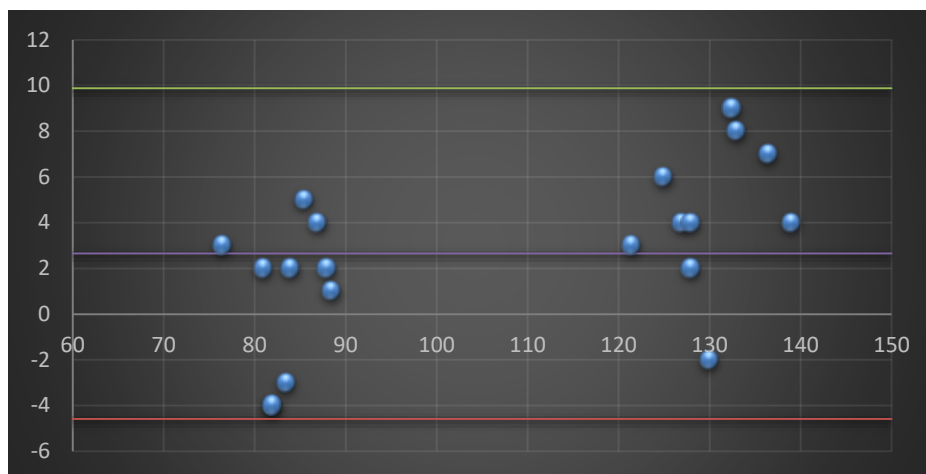


Fig.2. Diagrama Bland-Altman pentru tensiunea arterială determinată prin metoda PTT.

Rezultatele experimentale denotă că metoda propusă a obținut o precizie relativ bună în comparație cu metoda oscilometrică pentru subiecții aflați în repaos și poate fi propusă pentru evaluarea cardiovasculară în dinamică și monitorizarea la distanță pe termen lung. În acest studiu au fost investigați doar indivizii normotensivi, astfel că odată cu creșterea tensiunii arteriale rezultatele pot varia, dar totuși cu o acuratețe variabilă.

Din punctul de vedere al preciziei de măsurare, este necesar de a efectua calibrarea nu mai rar de o dată în 30 de zile, însă e recomandat de a efectua calibrarea săptămânal, din cauza modificării proprietăților optice ale țesuturilor. Aceasta se datorează diferențierilor între indivizi în ceea ce privește curba de calibrare PTT față de TA. Însă, folosirea metodei regresiei liniare prezintă și unele dezavantaje, care nu pot expune reglarea sistemului cardiovascular. De aceea, se recomandă introducerea unor parametri suplimentari ca, de exemplu, frecvența ciclurilor cardiace.

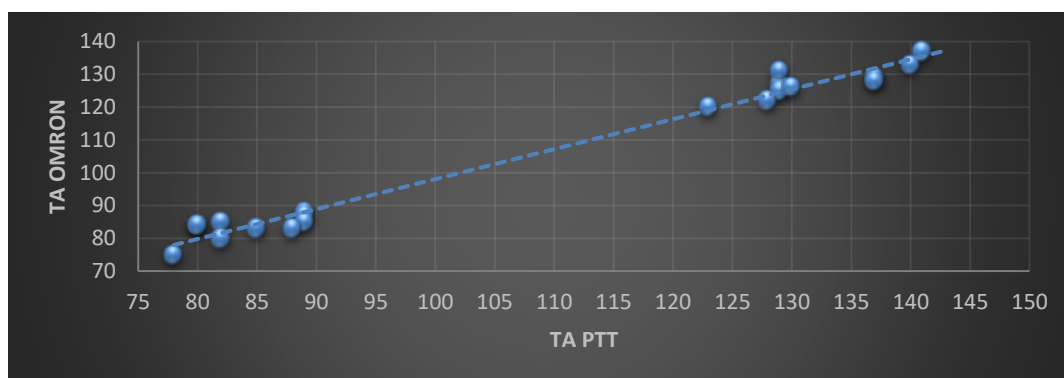


Fig.3. Diagrama de corelație între metoda PTT și oscilometrică.

Astfel, a fost demonstrată eficacitatea utilizării metodei de determinare a tensiunii arteriale cu ajutorul metodei cuffless (pulse transit time). Această metodă are avantajele unei ergonomii net superioare metodei oscilometrice, ceea ce se reflectă pozitiv asupra relației pacient-sistem datorită unei portabilități și dimensiuni reduse a prototipului. Un avantaj care posedă acest sistem este evitarea compresiei brațului care duce la stagnarea circulației sanguine și poate provoca disconfort și durere. Una dintre limitări reprezintă sensibilitatea sporită la detecția segmentului QRS și a undei de puls. Astfel, se recomandă de a se evita mișcările în timpul determinării tensiunii arteriale pentru evitarea inducerii unor artefacte de mișcare sau folosirea unui subsistem de compensare bazat pe un accelerometru cu 9 axe.

Protocolul de transmitere și determinare este programat și predefinit în codul programului; astfel, fiecare măsurare are loc timp de aproximativ 2 minute. Datele sunt transmise către platforma IoT asksensor.com, unde se poate vizualiza data și ora primirii datelor și se afișează grafic histograma și diagrama de evoluție/variabilitate a tensiunii arteriale. Valorile predeterminate pot fi setate pentru fiecare individ în parte, iar dacă după 5 măsurători consecutive valorile depășesc limitele sanogene, se generează un semnal de alarmă.

Concluzii

1. A fost implementată o nouă metodă de evaluare și monitorizare la distanță a tensiunii arteriale, care se bazează pe determinarea intervalului de timp dintre segmentul R al ECG și punctul ce coincide cu vârful unde anacrote a fotopletismogramei, pe posibilitatea corelației tensiunii arteriale sistolice cu cea diastolică, pe un algoritm matematic de procesare digitală a semnalelor fiziologice cu ajutorul unui sistem SoC bazat pe controler ESP32.
2. Media erorii metodei este de 3,83% cu o medie a devierii tensiunii de $\pm 4,5$ mmHg cu o deviație standard de 3,2 pentru presiunea sistolică, iar pentru presiunea diastolică media erorilor este de 3,61% cu o deviere medie de $\pm 0,8$ mmHg cu o deviație standard 3,29. Acuratețea generală este de aproximativ 96,3%, ceea ce demonstrează că algoritmul elaborat, comparativ cu metoda oscilometrică, este valabil pentru monitorizarea tensiunii arteriale.

Referințe:

1. ФУРДУЙ, Ф.И., ЧОКИНЭ, В.К., ФУРДУЙ, В.Ф. Три важнейшие проблемы физиологии и санокреатологии, детерминирующие состояние здоровья общества. Пути их решения (Пленарный докладна IV-ом Съезде физиологов СНГ). În: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele Vieții*, 2015, vol.1(325), p.4-17.
2. ФУРДУЙ, Ф.И., ЧОКИНЭ, В.К., ФУРДУЙ, В.Ф., ГЛИЖИН, А.Г., ВРАБИЕ, В.Г., ШЕПТИЦКИЙ, В.А. *Трактат о научных и практических основах санокреатологии*. Том.1. Проблема здоровья. Санокреатология. Потребность общества в ее развитии. Кишинэу, 2016. 228 p.
3. ROTARIU, C. *Sisteme de telemonitorizare a parametrilor vitali*. Editura „Gr.T.Popa”, UMF Iași, 2009. 28 p. ISBN 978-606-544-011-1
4. ROTARIU, C. *Monitorizarea de la distanță a parametrilor vitali folosind sisteme înglobate: Rezumatul tezei de doctor*. Iași, 2010. 67 p.
5. YANG, XIAO., HUI, CHEN. *Mobile telemedicine: a computing and networking perspective*. CRC Press, 2008, p.440. ISBN: 978-1-4200-6046-1
6. BRENNAN, T.A., LEAPE, L.L., LAIRD, N.M. et al. Incidence of Adverse Events and Negligence in Hospitalized Patients - Results of the Harvard Medical Practice Study I. In: *New England J. Medicine*, 1991, vol.324, no6, p.370-376. ISSN: 0028-4793
7. LEAPE, L., BRENNAN, T., LAIRD, N. et al. The Nature of Adverse Events in Hospitalized Patients - Results of the Harvard Medical Practice Study II. In: *New England J. Medicine*, 1991, vol.324, no6, p.377-384. ISSN: 0028-4793
8. YANG, G.Z. *Body Sensor Networks*. L.: Springer, 2006, ISBN 978-1-4471-6374-9
9. STILPEANU, D.-M. Telemedicina un mijloc eficient de a comunica cu pacienții în carantină. În: *Medi Jobs.ro*. 2020, 20 martie. [Accesat: 15.10.2020] Disponibil: <https://medijobs.ro/blog/telemedicina-un-mijloc-eficient-de-a-comunica-cu-pacientii-in-carantina>.
10. World Health Organisation. A global brief on Hypertension, 2013. Silent killer, global public health crisis. [Accesat: 03.05.2018] Disponibil: https://www.who.int/cardiovascular_diseases/publications/global_brief_hypertension/en/.
11. STEWART, J. *Vital Signs and Resuscitation*. Landes Bioscience, 2003. Texas USA, ISBN: 1-57059-671-9

Notă: Cercetările științifice au fost efectuate în baza proiectului de doctorat *Elaborarea unui sistem de monitorizare a stării sănătății sistemului cardiorespirator*.

Date despre autor:

Nicolai BOTNARU, doctorand, Școala doctorală Științe Biologice, Geomice, Chimice și Tehnologice, Universitatea de Stat din Moldova.

E-mail: nicolaibotnaru@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5308-8307

Prezentat la 07.07.2021