

## MONITORIZAREA LA DISTANȚĂ A FRECVENȚEI RESPIRAȚIEI UTILIZÂND TEHNOLOGIA MĂSURĂRII TRANSIMPEDANȚEI TORACICE

**Botnaru Nicolai**

*Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din  
Moldova, Chișinău, Republica Moldova, nicolaibotnaru@gmail.com*

**Abstract.** *The key element of the method for determining and monitoring the breathing frequency in Wireless mode, used in an electronic prototype, developed by the author, is to detect using the technology of measuring chest transimpedance. The ADS1292R integrated circuit was used to measure the impedance, which has a built-in chest movement detection circuit. The method involves the use of a mathematical algorithm for digital signal processing using an SoC system based on an ESP32 controller and using of IoT technologies for wireless data transmission.*

**Key words.** *Remote monitoring, respiratory rate, sanogen, thoracic transimpedance, pneumogram.*

### Introducere

Sistemele de monitorizare la distanță a semnelor vitale, este un subiect de interes practic din ce în ce mai important în ultimul deceniu, iar progresul rapid din tehnologia informației va avea un impact major asupra serviciilor de sănătate în viitorul apropiat [1].

De aceea, nu întâmplător, atât medicina, fiziologia și sanocreatologia, cât și bioingineria permanent sunt în căutarea posibilității monitorizării și creării sistemelor de analiză a funcțiilor acestor sisteme de la distanță și în dinamică [2].

Republica Moldova, conform Hotărârii Guvernului nr. 857 din 31.10.2013 cu privire la Strategia Națională de dezvoltare a societății informaționale „Moldova Digitală 2020”, a aprobat Strategia Națională de e-Sănătate 2020, utilizarea tehnologiilor, informației și comunicațiilor pentru sănătate, de exemplu, tratarea pacienților, cercetarea continuă, supravegherea bolilor și monitorizarea sănătății [4].

Telemedicina este o practică nouă pentru Republica Moldova, ea reprezintă o modalitate inovativă de furnizare a informațiilor medicale, care se bazează pe utilizarea diferitelor mijloace de comunicare la

distanță, disponibile la momentul actual. Acest instrument este extrem de util în îmbunătățirea relației de comunicare medic-pacient [7].

Integrarea tehnologiei în medicină și rolul acesteia în îmbunătățirea calității îngrijirii medicale a fost unul dintre subiectele discutate pe larg în cadrul Digital Health Forum 2024, care prezintă o gamă largă de inovații care vor transforma modul în care este practică și înțeleasă sănătatea [8].

Se consideră, că serviciile de telemonitorizare și telemedicina le aparține viitorul, deoarece este indiscutabil faptul, că elaborarea și implementarea echipamentului de telemonitorizare prezintă o problemă actuală de cercetare.

Necesitatea studiului cu privire la elaborarea unui sistem de monitorizare la distanță a unor parametri fiziologici a sistemelor cardiovascular și respirator în situații reale de viață, luând în considerație rolul lor în asigurarea activității organismului și menținerii sănătății somato-vegetative pe deplin se înscrie în strategia contemporană, a dezvoltării medicinei și sanocreatologiei ce alcătuiește domeniul de studiu.

**Scopul cercetărilor** constă în fundamentarea utilizării unor indici reprezentativi a sistemelor vitale ale organismului - cardiovascular și respirator ce ar servi ca componente a unui dispozitiv special elaborat (prototip), modul de telemonitorizare a activității funcționale ale acestor organe vitale și preventiv a reflectării relative a stării sănătății somato-viscerale a organismului în dinamică [3].

Unul din obiectivele propuse a fost: elaborarea unui modul de monitorizare a frecvenței respirației cu ajutorul tehnologiei măsurării transimpedanței toracice în scopul evaluării la distanță a activității funcționale stării relative a sănătății somato-vegetative.

Cercetările s-au efectuat în cadrul Laboratorului Fiziologia stresului, adaptării și Sanocreatologie generală al Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie și în cadrul Serviciului Medical al Ministerului Afacerilor Interne.

### **Materiale și metode**

Mișcările respiratorii au fost detectate cu ajutorul tehnologiei măsurări transimpedanței toracice pe un eșantion de 6 voluntari. Pentru măsurarea impedanței s-a folosit circuitul integrat ADS1292R care are încorporat circuitul de detecție a mișcărilor cutiei toracice. Principiul de funcționare se bazează pe injectarea unui curent de valoare mică și frecvență înaltă și măsurarea voltajului la nivelul țesutului.

Pentru modulul ADS1292R valorile curentului injectat, frecvența este de 32 kHz iar valoarea curentului 30  $\mu$ A. Curentul este injectat prin electrozii ECG astfel se reduce numărul de componente necesare monitorizării respiratorii. Datele sunt transmise prin interfața SPI către microcontroler unde sunt analizate. Înregistrarea mișcărilor respiratorii permite obținerea pneumogramei.

Impedanța este o proprietate electrică a materialului de a se opune curgerii curentului și depinde de prezența ionilor, celulelor dar și alte componente. Pentru modelul electric valoarea impedanței este o variabilă dependentă de frecvență care poate fi calculată folosind ecuația Cole-Cole [6]:

$$Z(f) = R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + (j\omega\tau)^{\alpha}} \quad (1)$$

unde  $R_0$  reprezintă rezistența la frecvența zero,  $R_{\infty}$  rezistența la frecvență infinită,  $\tau$  constanta de timp și  $\alpha$  coeficient care în dependență de țesuturi poate lua valori între 1 și 0. Pentru a determina bioimpedanța este necesar un modul care injectează un semnal electric de anumită frecvență și intensitate, iar în baza semnalului recepționat se estimează impedanța. Matematic valoarea voltajului măsurat se calculează după următoarea expresie [6].

$$V = Z \times I \sin(\omega t) = R \times I \sin(\omega t) + X \times I \cos(\omega t) \quad (2)$$

Semnalul este de obicei injectat cu ajutorul unor electrozi care sunt aplicați pe suprafața toracelui au avantajul enorm de a fi non-invaziv, permite cercetarea și dezvoltarea sistemelor de monitorizare sau aplicații portabile pentru pacienții ambulatorii. În funcție de numărul de electrozi și configurația acestora, definim două metode de măsurare: bipolară sau tetra-polară.

Pentru metoda bipolară sunt folosiți doi electrozi care au rol de a injecta curent și de a măsura voltajul. Pentru metoda tetra-polară se utilizează patru electrozi care joacă roluri diferite. Doi electrozi aplică curentul iar ceilalți doi recepționează semnalul [5]. Analiza statistică a datelor obținute s-a efectuat cu ajutorul programului Excel 2019.

### Rezultate și discuții

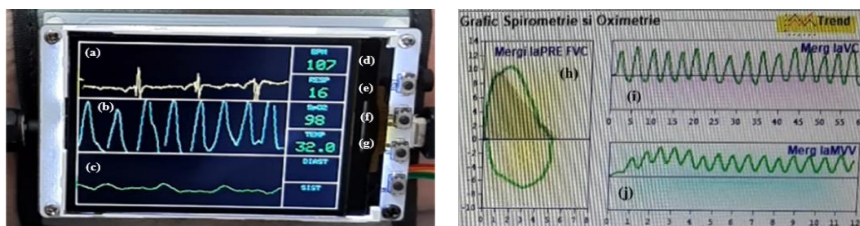
Metoda de analiză a frecvenței respiratorii utilizată este pneumograma, care reprezintă înregistrarea grafică a mișcărilor respiratorii prin determinarea impedanței electrice. Graficul obținut prezintă o pantă ascendentă mai rapidă, care reprezintă procesul activ de inspirație și o pantă descendentă mai lentă prezentând procesul pasiv de expirație. Cu ajutorul graficului obținut permite de a analiza următorii

parametri: frecvența, amplitudinea și ritmicitatea respirației, precum și reacția la diferite situații fiziologice ca: efort fizic, somn sau patologice: ca exemplu monitorizarea pacienților cu boli cronice sau cei care prezintă sindromul apnee de somn. Pneumograma nu oferă informații despre volumetria, capacitățile și debitele pulmonare.

Algoritmul de calcul s-a bazat pe o matrice unidimensională de valori se completează timp de 30 de secunde cu cele 250 de valori după care are loc determinarea maximului, minimului, mediei și calculul valorii de prag adaptive. Are loc contorizarea numărului de intersecții ale pneumografiei cu valoarea de prag. Astfel, se obține valoarea care reprezintă numărul de respirații timp de 30 de secunde respectiv pentru calcularea numărului de respirații pe minut se înmulțește la doi.

În scopul determinării corectitudinii algoritmului implementat de calcul a frecvenței respirației s-au realizat o serie de comparații a datelor, obținute prin spirometrul Spirobank II Advanced și prototipul creat datele au fost colectate pe un eșantion de 6 voluntari.

Astfel, cu ajutorul spirometrului a fost preluată pneumograma pentru a compara cu datele preluate cu ajutorul prototipului creat figura 1.



**Figura 1.** Comparație graficul variației fluxului de aer cu variația transimpedanței toracice. (a) – semnalul ECG, (b) – pneumograma, (c) – fotopletismograma, (d) – valoarea FCC, (e) – valoarea frecvenței respirației, (f) – saturația cu oxigen a sângelui, (g) – temperatura corporală, (h) – diagrama curbei debit/volum, (i) – pneumograma în regim normal, (j) – pneumograma în regim forțat.

S-a stabilit, că pneumograma captată cu ajutorul spirometrului (fig.1 – i) coincide cu graficul pneumogramei (fig.1 – b) prelevate de prototipul elaborat, iar numărul de respirații pe minut coincide cu numărul de vârfuri din cele două grafice.

Pentru validarea preciziei algoritmului de calcul a frecvenței respirației s-a efectuat o comparare dintre valorile obținute cu ajutorul prototipului și valorile determinate cu ajutorul spirometrului. În tabelul 1

sunt introduse datele calculate cu ajutorul prototipului și datele determinate din spiromograma captată cu ajutorul spirometrului Spirobank.

**Tabelul 1. Compararea rezultatelor obținute cu ajutorul spirometrie și transimpedanței.**

Subiect	Vârsta (ani)	Greutate (kg)	Înălțime (cm)	Sex	FR Spirobank	FR prototip
I	66	78	174	M	14	15
II	53	90	173	M	15	14
III	58	100	178	M	15	15
IV	69	86	173	M	16	15
V	31	103	182	M	16	16
VI	61	92	175	M	14	15
Media					15,00	15,00

În rezultatul analizei statistice a datelor obținute s-a stabilit, că frecvența respirației determinate cu ajutorul prototipului elaborat are o deviație standard de 0,9, variația 0,8 și o eroare de 0,3 %. Acuratețea generală de determinare a frecvenței respiratorii constituie 95,47%.

Putem confirma cu certitudine că determinarea numărului de respirații prelevate cu ajutorul prototipului elaborat corespunde cu datele preluate cu ajutorul spirometrului și poate fi propus pentru monitorizarea frecvenței respirației la distanță. Din datele experimentale relevă o dependență aproximativ liniară dintre cele două echipamente testate, ceea ce demonstrează, că prototipul elaborat poate fi utilizat în monitorizarea frecvenței respirației în dinamică la distanță.

### Concluzii

1. Determinarea numărului de respirații prelevate cu ajutorul prototipului elaborat corespunde cu datele preluate cu ajutorul spirometrului și poate fi propus pentru monitorizarea frecvenței respirației la distanță.

2. Frecvența respirației determinate cu ajutorul prototipului elaborat are o deviație standard de 0,9, variația 0,8 și o eroare de 0,3 %. Acuratețea generală a algoritmului de determinare a frecvenței respirației constituie 95,47%.

3. Metoda studiată are avantajele este noninvazivă și datorită unei ergonomii net superioare poate fi aplicată pe un spectru larg de pacienți.

## Bibliografie

1. *Botmaru N.M.* Telemedicina – medicina viitorului. Conferința.” Învățământ superior: tradiții, valori, perspective” Științe Exacte și ale Naturii și Didactica Științelor Exacte și ale Naturii. Chișinău, 29-30 septembrie 2020, Vol. 1, 82-86. ISBN 978-9975-76-312-7.
2. *Botmaru N. M.* Telemonitorizarea sănătății – solicitarea incontestabilă a zilei. Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții. 2017, 2(332), 38-49. ISSN-1857-064X.
3. *Botmaru N. M.* Telemonitorizarea în dinamică a funcțiilor și stării sistemului cardiorespirator la om. Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții.2020, 3(342), 79-95. ISSN 1857-064X
4. Hotărîrea Guvernului nr. 857 din 31.10.2013 cu privire la Strategia națională de dezvoltare a societății informaționale „Moldova Digitală 2020” 35p. Publicat: 08-11-2013 în Monitorul Oficial Nr. 252-257 art. 963. [citat 22.04.2017] disponibil: <https://www.who.int/goe/policies/moldova.Strategia-eSanatate-si-Planul-de-implementare2020.pdf?ua=1>.
5. *Bashford Curtis.* Development of a multi-lead trans-thoracic impedance pneumograph for heart rate variability studies. Theses. 1995. 1144. disponibil la: <https://digitalcommons.njit.edu/theses/1144>.
6. *Serres Victor.* AD5933-Based System for Transthoracic Impedance Measurements: Master thesis. University of Boras 2012. p. 45.
7. <https://adra.md/telemedicina-practica-noua-pentru-republica-moldova/>
8. <https://www.moldova.org/perspectivale-integrarii-solutiilor-tehnologice-in-domeniul-sanatatii-au-fost-discutate-in-cadrul-digital-health-forum-2024/>