MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

Cu titlu de manuscris
C.Z.U:612.17:004.9(478)(043.3)

BOTNARU NICOLAI

ELABORAREA UNUI SISTEM DE MONITORIZARE A STĂRII SĂNĂTĂȚII SISTEMULUI CARDIORESPIRATOR

165.01 – FIZIOLOGIA OMULUI ȘI ANIMALELOR

Rezumatul tezei de doctor în științe biologice

CHIŞINĂU, 2022

Teza de doctor a fost elaborată în cadrul Școlii doctorale „Științe Biologice” a Universității de Stat „Dimitrie Cantemir”, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie și Serviciului Medical al MAI.

Conducător științific:

FURDUI Teodor, profesor universitar, doctor habilitat în științe biologice, academician.

Componența comisiei de susținere publică a tezei de doctorat:

VOVC Victor	profesor universitar, doctor habilitat în științe medicale, USMF „Nicolae Testemițanu” – *președinte*
FURDUI Teodor	profesor universitar, doctor habilitat în științe biologice, academician, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie – *conducător de doctorat*
CIOCHINĂ Valentina	conferențiar cercetător, doctor în științe biologice, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie – *referent*
CRIVOI Aurelia	profesor universitar, doctor habilitat în științe biologice, Universitatea de Stat din Moldova – *referent*
RAILEAN Serghei	conferențiar universitar, doctor în științe tehnice, Universitatea Tehnică a Moldovei – *referent*
LEORDA Ana	conferențiar cercetător, doctor în științe biologice, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie – *secretar*

Susținerea va avea loc la data de „15” aprilie 2022, la ora 14:00 în cadrul ședința Comisiei de susținere publică a tezei de doctor, Școala doctorală „Științe Biologice, Geonomice, Chimice și Tehnologice”, Sala Senatului Universității de Stat din Moldova, str. Academiei 3/2, Chișinău. (http://www.usm.md)

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la Biblioteca Națională a Republicii Moldova, Biblioteca Științifică Centrală (Institut) „Andrei Lupan”, Biblioteca Centrală a Universității de Stat din Moldova (MD 2009, mun. Chișinău, str. Alexei Mateevici 60), pe pagina web a ANACEC (http://www.cnaa.md/) și pe pagina web a USM (http://usm.md/).

Rezumatul a fost expediat la data ”_____”_____” 2022

Conducător științific:
FURDUI Teodor, profesor universitar,
doctor habilitat în științe biologice, academician _____

Autor:
BOTNARU Nicolai _____

©Botnaru Nicolai, 2022

CUPRINS

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII **4**
CONȚINUTUL TEZEI **6**
1. STAREA CONTEMPORANĂ A STUDIILOR SERVICIILOR DE SUPRAVEGHERE LA DISTANȚĂ A FUNCȚIILOR UNOR SISTEME FIZIOLOGICE ȘI A STĂRII SĂNĂTĂȚII SOMATO-VEGETATIVE **6**
2. IDENTIFICAREA INDICATORILOR FUNCȚIONALI DE MONITORIZARE LA DISTANȚĂ, TEHNICI ȘI METODE DE PRELEVARE, ACHIZIȚIONARE ȘI ANALIZĂ A PARAMETRILOR FIZIOLOGICI ELECTRICI, DE CONVERSIUNE A SEMNALELOR FIZIOLOGICE DE ORIGINE NEELECTRICĂ, DE VIZUALIZARE ȘI TRANSMITERE LA DISTANȚĂ **7**
2.1. Conceptul proiectării prototipului de telemonitorizare **7**
2.2. Prelevarea și analiza activității electrice cardiace cu ajutorul circuitului de bioinstrumentație **8**
2.3. Metoda de prelevare și analiză a mișcărilor respiratorii cu ajutorul transimpedanței **9**
2.4. Pulsoximetria – metoda optică de determinare a saturației hemoglobinei din sânge cu oxigen **9**
2.5. Determinarea temperaturii corpului cu ajutorul termometriei **9**
2.6. Determinarea tensiunii arteriale **9**
2.7. Concluzii la capitolul 2 ..... **10**
3. ELABORAREA UNUI SISTEM DE MONITORIZARE A ACTIVITĂȚII FUNCȚIONALE A SISTEMELOR CARDIOVASCULAR, RESPIRATOR, A TEMPERATURII CORPULUI ȘI A STĂRII RELATIVE A SĂNĂTĂȚII SOMATO-VEGETATIVE **10**
3.1. Structura componentelor inginerești constitutive ale prototipului **10**
3.2. Adaptarea subsistemului de achiziție a activității cardiace și respiratorii **12**
3.3. Integrarea senzorului de pulsoximetrie MAX30100 ..... **15**
3.4. Integrarea senzorului de temperatură MAX30205 ..... **16**
3.5. Determinarea tensiunii arteriale cu ajutorul metodei timpul de propagare a pulsului **18**
3.6. Concluzii la capitolul 3 ..... **21**
4. ELABORAREA ȘI IMPLEMENTAREA ALGORITMULUI DE COMUNICARE WIERELESS ȘI TESTAREA CAPACITĂȚILOR FUNCȚIONALE ÎN ANSAMBLU A PROTOTIPULUI DE MONITORIZARE ÎN CONTINUU LA DISTANȚĂ **22**
4.1. Sisteme de comunicare wireless și platforma IoT **22**
4.2. Evaluarea valorilor parametrilor fiziologici ce reflectă preventiv starea sanogenă și disanogenă a sistemului cardiorespirator cu ajutorul prototipului **23**
4.3. Concluzii la capitolul 4 ..... **26**
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI **26**
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ **28**
LISTA LUCRĂRILOR ȘTIINȚIFICE PUBLICATE LA TEMA TEZEI **30**
ADNOTĂRI (română, rusă, engleză) **31**

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța problemei abordate. Actualitatea și semnificația monitorizării parametrilor fiziologici la distanță, ca problemă a fiziologiei, a medicinei și a sanocreatologiei, este determinată de solicitările acestor științe de a evidenția particularitățile și mecanismele fiziologice de dezvoltare și manifestare sanogenă a funcțiilor organelor și sistemelor vitale în dinamică și predictibili cu valoare de anticipare a posibililor dereglări ale sănătății somato-vegetative. Elaborarea și crearea unui sistem de telemonitorizare și utilizare la distanță a unor indici fiziologici ai sistemelor cardiovascular, respirator și ai temperaturii organismului a făcut posibil nu numai supravegherea în continuu a stării funcționale preventive a acestor sisteme vitale, dar și, relativ, a sănătății somato-vegetative.

Descrierea situației în domeniul de cercetare. Conform datelor științifice ale fondatorilor sanocreatologiei [24, 25, 26], una din 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, ce creează dificultăți în efectuarea expeditivă și adecvată a măsurilor de recuperare a dereglărilor funcționale, în rezultat, obțin caracter morbid.

Monitorizarea stării fiziologice a organismului la distanță se consideră una din cele mai efective posibilități de soluționare a problemei de sănătate, deoarece numai în așa caz este reală organizarea operativă și la timp a asistenței medicale în favoarea menținerii sănătății [2]. S-a constatat că serviciilor de telemonitorizare și telemedicină le aparține viitorul, deoarece este indiscutabil faptul că elaborarea și implementarea echipamentului de telemonitorizare prezintă o problemă actuală de cercetare [3, 14, 15].

Pentru monitorizarea la distanță a unor parametri fiziologici sunt elaborate și se utilizează în practica medicală diverse sisteme de telemonitorizare. Din cauza costului înalt, a gabaritelor mari și ergonomiei reduse, aceste sisteme de telemonitorizare nu pot să-și găsească implementarea solicitată de fiziologia dinamică și sanocreatologie. Elaborarea unei structuri a stării funcționale a sistemelor vitale cardiovascular și respirator, a temperaturii corpului și a stării relative preventive a sănătății somato-vegetative, are ca scop formarea și menținerea dirijată a sănătății de la distanță în diverse modalități de activitate pentru stoparea disanogeniilor, și ține de o resetare, de o nouă abordare a medicinei solicitată de practică.

În baza celor expuse, se reliefează **scopul cercetărilor** care constă în fundamentarea utilizării unor indici fiziologici reprezentativi ai sistemelor vitale cardiovascular și respirator în calitate de indicatori ai unui dispozitiv (prototip) de telemonitorizare în dinamică a activităților funcționale preventive a stării sănătății somato-viscerale a organismului.

Pentru realizarea scopului au fost determinate următoarele **obiective**:

1. Analiza practicii utilizării tehnologiilor de monitorizare la distanță a unor funcții ale sistemelor cardiovascular și respirator;
2. Estimarea parametrilor fiziologici (frecvența ciclului cardiac, frecvența respirației, saturația oxigenului din sânge, temperatura corpului, tensiunea arterială sistolică/diastolică), utilizarea cărora, într-un sistem de telemonitorizare, ar permite evaluarea preventivă a activității funcționale a sistemului cardiorespirator și a stării relative a sănătății somato-vegetative la distanță;
3. Elaborarea unui sistem de monitorizare a unor indici reprezentativi ai funcțiilor sistemului cardiorespirator în scopul evaluării la distanță a activității funcționale a acestuia și a stării relative a sănătății somato-vegetative;
4. Elaborarea unei interfețe specializate de vizualizare și analiză a informației fiziologice despre activitatea sistemului cardiorespirator;
5. Elaborarea modulului de transmitere a informației cu ajutorul rețelelor de comunicare, în caz de necesitate;
6. Testarea capacităților funcționale în ansamblu cu sistemul de telemonitorizare în continuu la distanță.

Ipoteza de cercetare. Prevenția dereglărilor funcționale ale sistemelor cardiovascular și respirator și a dezvoltării morbidității înalte a maladiilor corespunzătoare poate fi realizată prin creare unui sistem de telemonitorizare și vizualizare la distanță a unor parametri fiziologici vitali ai sistemelor menționate și relativ a sănătății somato-vegetative în scopul acordării intervenției medicale urgente precoce.

Noutatea și originalitatea științifică rezidă în argumentarea unui concept privind identificarea unor sisteme fiziologice și a parametrilor funcționali ce ar reflecta starea lor funcțională relativă și a sănătății somato-vegetative și ar putea servi ca indicatori de telemonitorizare, elaborarea unui prototip original de monitorizare la distanță.

Valoarea aplicativă este determinată de solicitările științelor: fiziologia omului și animalelor, sanocreatologia, medicina, bioingineria de a studia modificările funcțiilor sistemelor fiziologice vitale în dinamică la distanță și la timp de a întreprinde acțiuni de prevenție și recuperare.

Aprobarea rezultatelor științifice. Principalele rezultate ale cercetărilor științifice, expuse în teză au fost comunicate și aprobate la diverse foruri științifice de specialitate din țară: Международная научно-практическая конференция „Современные достижения науки и пути инновационного восхождения экономики региона, страны”. Комрат: „Прогресс”, 8

мая, 2017; 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.

Metodologia cercetării științifice. Metodologia cercetărilor științifice s-a bazat pe un concept din domeniul fiziologiei privind principiul de identificare a sistemelor fiziologice cu funcție vitală și a indicatorilor reprezentativi ai acestora, ce reflectă atât starea lor funcțională, cât și starea preventivă a sănătății somato-vegetative, de rând cu alt concept din domeniul bioingineriei, privind asigurarea optimizării culegerii, prelucrării și transmiterii la distanță a informației din semnalele biomedicale din contul arhitecturii și componentelor structurale constitutive (dispozitivelor electronice, senzorilor, traductorilor, sistemelor înglobate) performante și specializate. Prototipul se bazează pe metoda electrocardiografiei, transimpedanței toracice, pulsoximetriei, termometriei, fotopletismografiei. Pentru stabilirea veridicității și autenticității datelor experimentale obținute a fost aplicat programul standard de analiză statistică Excel-2019. Pentru programare s-a folosit platforma open-source Arduino care reprezintă un mediu integrat de dezvoltare (IDE) ce se bazează pe limbajul de programare C/C++.

Cuvinte cheie: parametri fiziologici, tensiune arterială, frecvența respirației, frecvența contracțiilor cardiace, saturația oxigenului din sânge, temperatură corpului, sănătate somato-vegetativă, monitorizare la distanță.

CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** sunt reflectate premisele teoretice și practice care subliniază actualitatea și importanța problemei cercetate. De asemenea, sunt formulate obiectivele și scopul cercetării, este argumentată valoarea teoretică și aplicativă a tezei și modul cum vor fi validate rezultatele.

CAPITOLUL 1. STAREA CONTEMPORANĂ A STUDIILOR SERVICIILOR DE SUPRAVEGHERE LA DISTANȚĂ A FUNCȚIILOR UNOR SISTEME FIZIOLOGICE ȘI A STĂRII SĂNĂTĂȚII SOMATO-VEGETATIVE

Capitolul include o analiză a datelor existente la momentul actual în literatura de specialitate cu privire la importanța telemedicinii în asigurarea supravegherii stării funcționale și a sănătății somato-vegetative. Se analizează sisteme existente de telemonitorizare cu diferite complexități, ce se bazează pe tehnologii informaționale și de comunicații, inclusiv Wi-Fi și Bluetooth, ce facilitează transmiterea informației fără fir. 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 [6, 7].

În raportul de cercetare care a fost prezentat de către compania Berg Insight se relevă faptul că rata anuală de creștere cumulată a veniturilor provenite din monitorizarea la distanță a pacienților până în 2023 este de așteptat să fie de 21,4%, ajungând la 46,1 miliarde de euro până la sfârșitul perioadei de prognoză [20]. Costul segmentului de sănătate mobil, potrivit estimărilor Yahoo Finance, la nivel global, ar putea să ajungă la peste 82 de miliarde de dolari până în 2027, iar interesul față de telemedicină va crește cu peste 500% [8, 14, 15].

Avantajele serviciilor de telemedicină în timpul pandemiei de COVID-19 sunt mari, deoarece permite monitorizarea la distanță a pacienților, ceea ce înseamnă că transmiterea noului coronavirus de la pacient la medic sau invers devine imposibilă [9]. Bolile cardiovasculare ocupă primul loc la capitolul mortalitate provocată de boli cronice netransmisibile, cu 17,5 milioane de decese anual, iar boli respiratorii – 4 milioane de decese [10]. Unii autori [11, 16] 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 [23].

În baza principiilor sanocreatologiei, privind rolul semnificativ al funcțiilor sistemelor fiziologice somato-vegetative în formarea și menținerea sănătății, a fost elaborat conceptul despre estimarea precoce a dereglării sănătății somato-vegetative, conform căruia, parametrii fiziologici ai sistemelor fiziologice vitale – cardiovascular și respirator, în asociere cu temperatura corpului, pot servi ca indicatori predictibili ai stării sănătății somato-vegetative [1].

2. IDENTIFICAREA INDICATORILOR FUNCȚIONALI DE MONITORIZARE LA DISTANȚĂ, TEHNICI ȘI METODE DE PRELEVARE, ACHIZIȚIONARE, ȘI ANALIZĂ A PARAMETRILOR FIZIOLOGICI ELECTRICI, DE CONVERSIUNE A SEMNALELOR FIZIOLOGICE DE ORIGINE NEELECTRICĂ, DE VIZUALIZARE ȘI TRANSMITERE LA DISTANȚĂ

2.1. Conceptul proiectării prototipului de telemonitorizare

Conform scopului și obiectivelor propuse, dar și a tendinței pieței, a fost elaborat un concept referitor la proiectarea unui sistem care achiziționează semnalele biomedicale de la pacient și execută operații de calcul al valorilor, iar în cazul depistării unei situații în care parametrii sunt în afara limitelor sanogene, generează un semnal de alarmă. Ulterior, datele prelevate se transmit automat cu ajutorul unei rețele wireless către o adresă predefinită.

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 în anii 2016-2020.

Prototipul propus spre realizare se bazează pe următoarele metode de evaluare a activităților vitale:

1. Electrocardiografia – metoda de analiză a activității electrice cardiace sub formă grafică care înregistrează evoluția voltajului în funcție de timp. Prin utilizarea unui algoritm matematic, se extrage frecvența ciclului cardiac exprimată în bătăi pe minut.
2. Transimpedanță toracică – metoda de analiză a mișcărilor respiratorii prin dependența grafică în funcție de timp a impedanței electrice a cutiei toracice și extragerea frecvenței respirației timp de 1 minut.
3. Pulsoximetria– metoda optică de determinare a saturației cu oxigen a hemoglobinei din sânge. Valoarea se exprimă în procente (%).
4. Termometria – metoda de determinare cu ajutorul senzorilor a temperaturii corpului. Valoarea se exprimă în grade Celsius.
5. Timpul de propagare a pulsului – metoda de analiză și determinare a tensiunii arteriale prin extragerea timpului de propagare cu ajutorul fotopletismografiei și electrocardiogramei. Metoda aproximează tensiunea arterială sistolică și diastolică exprimată în *mmHg*.

2.2. Prelevarea și analiza activității electrice cardiace cu ajutorul circuitului de bioinstrumentație

Pentru elaborarea dispozitivului s-a folosit modulul ECG, care se bazează pe un chip ADS1292R produs de Texas Instruments Incorporated, care include o funcție integrată de măsurare a biopotențialelor și transimpedanței toracice pentru detectarea mișcărilor respiratorii. Semnalul analogic este convertit în pachet de date la fiecare 8 milisecunde și transmis către unitatea centrală de procesare, datele sunt procesate și afișate pe display, totodată, folosind algoritmul Pan–Tompkins, se determină frecvența ciclului cardiac [19].

Algoritmul elaborat pentru acest prototip constă în crearea unui masiv de date colectate după care are loc procedura de filtrare digitală pentru înlăturarea zgomotului. În urma aplicării unor valori de prag adaptive, are loc detecția complexelor QRS [22].

Pentru determinarea frecvenței ciclului cardiac se estimează durata de timp între undele R-R consecutive pe o anumită perioadă și se calculează media acestor intervale de timp. Valoarea obținută se estimează după formula:

$$FCC = \frac{60}{R-R_n} \tag{2.1}$$

2.3. Metoda de prelevare și analiză a mișcărilor respiratorii cu ajutorul transimpedanței

Metoda de analiză a frecvenței respirației 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.

Pentru determinarea impedanței toracice s-a utilizat modulul ADS1292R cu ajutorul unui circuit intern ce injectează prin electrozii un semnal modulat cu frecvența de 32kHz și valoarea curentului de 30μA [11]. Circuitul recepționează semnalul, filtrează și deduce valoarea impedanței, apoi datele sunt comunicate spre unitatea centrală de procesare prin interfața SPI. Unitatea centrală elaborează un masiv de date timp de 30 de secunde și apoi determină numărul de respirații pe minut care se afișează pe display.

2.4. Pulsoximetria – metoda optică de determinare a saturației hemoglobinei din sânge cu oxigen

Pentru a monitoriza valoarea saturației sângelui cu oxigen (SpO_2) prin metoda pulsoximetriei, s-a implementat un modul (MAX30100) pe bază de sisteme optice integrate. Modulul MAX30100 oferă două lungimi de undă: roșu ($\lambda \approx 660$nm), infraroșu ($\lambda \approx 880$nm), cu puterea și modularea impulsului programabilă [17]. Datele preluate sunt analizate și prelucrate cu ajutorul unui algoritm special, după care are loc calcularea saturației oxigenului din sânge și afișarea pe display.

2.5. Determinarea temperaturii corpului cu ajutorul termometriei

Pe prototipul elaborat s-a implementat senzorul de temperatură MAX30205 cu ajutorul căruia a fost măsurată temperatura la nivelul pielii. Modulul oferă o acuratețe de măsurare de ±0,1°C pe intervalul de temperatură+37÷39°C, iar pe intervalul +35,8÷37°C eroarea nu depășește ±0,2°C [18]. Temperatura se măsoară la fiecare 4 secunde. Datele, sub formă digitală, sunt transmise către unitatea centrală care afișează rezultatul pe display.

2.6. Determinarea tensiunii arteriale

Metoda de estimare a tensiunii arteriale prin timpul de propagare a pulsului (Pulse Transit Time) se bazează pe modulul ECG, ADS1292R și modulul MAX30100 care au rol de a prelua semnalul electrocardiografic și semnalul fotopletismografic. Semnalele sunt preluate într-un buffer de date prelucrate și analizate, iar, ca rezultat, se calculează media timpului de propagare a pulsului. Dependența dintre timpul de propagare a pulsului (Pulse Transit Time) și tensiunea

arterială este dependentă de proprietățile mecanice ale vaselor sanguine. Relația dintre cele două se supune ecuației Moens-Korteweg care este legată de PWV (Pulse Wave Velocity) după cum urmează:

$$PWV = \frac{L}{PTT} = \sqrt{\frac{gtE}{\rho d}} \quad (2.2)$$

Unde d reprezintă diametrul arterei, E – modulul Young, ρ – densitatea sângelui, t – grosimea peretelui, g – constanta gravitațională. Datorită schimbărilor reduse ale PTT în raport cu tensiunea arterială, ecuația poate fi aproximată ca o dependență liniară după expresia :

$$TA = -A(PTT) + B \quad (2.3)$$

unde A și B sunt două constante care variază în funcție de starea sistemului circulator al pacientului și este influențată de debitul cardiac, vâscozitatea sângelui, rezistența periferică a vaselor de sânge [12]. În urma calculării regresiei liniare, se determină tensiunea arterială [21].

2.7. Concluzii la capitolul 2

1.Arhitectura selectării și îmbinării elementelor constitutive ale prototipului portabil de telemonitorizare la distanță a unor parametri fiziologici (frecvență ciclului cardiac, frecvența respirației, saturația oxigenului din sânge, tensiunea arterială și temperatura corpului) a fost elaborată în baza unor noi tehnici și metode, dispozitive, module și sisteme integrate, senzori digitali, traductori ai companiilor specializate, cu calități superioare, ce asigură veridicitatea achiziționării, executării operațiilor de calcul ale valorilor parametrilor și vizualizarea lor.

2.Parametrii fiziologici ai sistemelor vitale cardiovascular și respirator, ce reflectă, deși relativ și preventiv, starea funcțională a acestor sisteme și a stării sănătății somato-vegetative, au fost stabiliți ca indicatori funcționali de monitorizare la distanță în scopul obținerii informației preventive despre starea funcțională a acestor sisteme și a sănătății somato-vegetative.

CAPITOLUL 3. ELABORAREA UNUI SISTEM DE MONITORIZARE A ACTIVITĂȚII FUNCȚIONALE A SISTEMELOR CARDIOVASCULAR, RESPIRATOR, A TEMPERATURII CORPULUI ȘI A STĂRII RELATIVE A SĂNĂTĂȚII SOMATO-VEGETATIVE

3.1. Structura componentelor inginerești constitutive ale prototipului

Datorită potențialei aplicări în medicină, sport a sistemelor 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 [3].

Sistemul elaborat s-a bazat pe următoarele componente: sistemul de procesare (ESP32), subsistemul de achiziție a activității electrice a cordului și transimpedanței electrice (ADS1292R), sistemul de măsurare a temperaturii (MAX30205), subsistemul de achiziție a saturației oxigenului din sânge și fotopletismografiei (MAX30100).

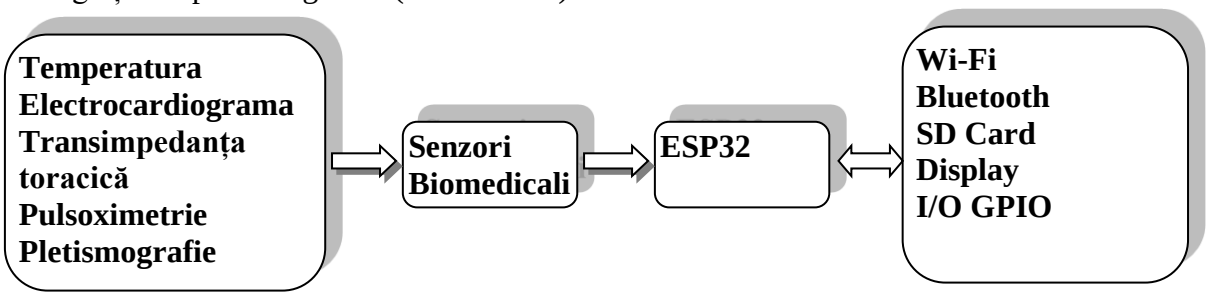


Fig. 3.1.Arhitectura sistemului de monitorizare a sistemelor cardiovascular și respirator

Arhitectura sistemelor cardiovascular și respirator a fost compusă din următoarele componente de bază: sistemul de achiziție (MAX30205, MAX30100, ADS1292R), sistemul de procesare/transmiterea datelor (ESP32) (fig.3.1.).

Achiziționarea semnalelor biomedicale s-a realizat pe un sistem cu arhitectură SoC (*în engleză* System-on-a-Chip) care se definește ca un mecanism cu mai multe circuite electronice, care sunt integrate pe un singur cristal. Reieșind din necesitățile tehnice, s-a folosit un microcontroler din familia ESP32, un sistem SoC, care integrează tehnologia Wi-Fi 802.11 b/g/n/e/i și Bluetooth 4.2 BLE pe un singur cristal, creat de Espressif Systems, ESP32, reprezintă un modul de dezvoltare axat pe aplicații mobile, dispozitive portabile și aplicații IoT, cu consum redus de energie datorită tehnologiei de fabricație de 40 de nanometri.

Dispozitivul conține 2 unități de bază: unitatea de achiziție a biosemnalelor medicale, care constă din placa de bază și totalitatea modulelor de achiziție a parametrilor vitali și unitatea de procesare/monitorizare, care este reprezentată de sistemul înglobat TTGO TM. Datele achiziționate reprezintă saturația oxigenului din sânge, temperatura corpului, tensiunea arterială, frecvența cardiacă și frecvența respirației. Avantajul acestei arhitecturi reprezintă un consum și volume reduse, de aceea, ea este pe larg recomandată de a fi utilizată în dispozitive portabile.

Dispozitivul a fost proiectat sub formă de brățară care se atașează la nivelul antebrațului (fig.3.2).

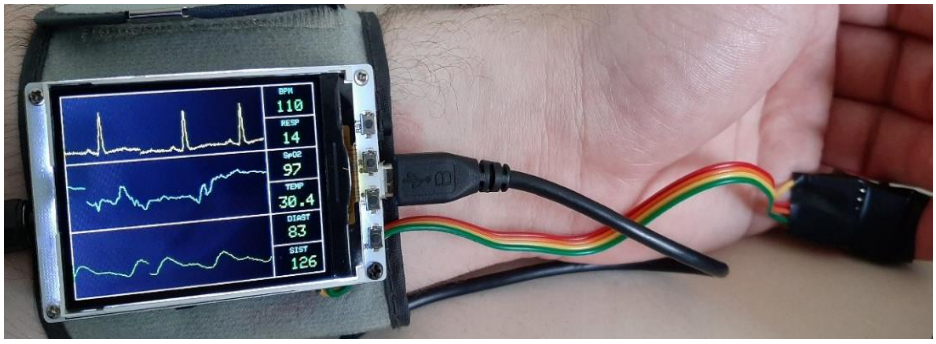


Fig. 3.2. Aspectul fizic finalizat al prototipului

Dimensiunile reduse, de circa 69 de mm lungime pe 44 de mm lățime și o greutate de aproximativ 50 de grame, fac alegerea perfectă pentru realizarea sistemului portabil. Dispozitivul proiectat asigură o mobilitate și informare bună a pacientului în condiții ambulatorii, dar și spitalicești. Important este faptul că persoana care utilizează acest dispozitiv, ce funcționează în mod continuu, nu-și va întrerupe activitatea și nu-i va fi solicitată atenția (de exemplu conducătorii auto). Dispozitivul este necesar de a fi plasat direct pe piele și poate fi purtat sub vestimentație, astfel, se asigură o bună ergonomie.

3.2. Adaptarea subsistemului de achiziție a activității cardiace și respiratorii

În ultimele decenii, se observă o creștere alarmantă a bolilor cardiovasculare, care constituie principalele cauze de deces la nivel global.

Frecvența cardiacă determinată este un indicator major, care poate reda starea pacientului. Limitele sanogene ale acestui parametru sunt dependente de vârstă, sex, condiția fizică a pacientului și sunt variabile de la subiect la subiect.

Pentru a stabili corectitudinea valorilor prelevate de pe prototipul elaborat, au fost comparate cu valorile indicate de dispozitive certificate medical (electrocardiograful MAC2000 produs de GE Healthcare). Datele au fost prelevate pe diferite categorii de persoane cu diverse vârstă, sex, greutate corporală și înălțime în cadrul Spitalului Serviciului Medical al Ministerului Afacerilor Interne.

Conform obiectivelor propuse, s-a evaluat variația medie, deviația și eroarea frecvenței ciclului cardiac înregistrate de prototip, față de datele indicate de electrocardiograful MAC2000.

Astfel, în urma analizei datelor obținute, s-a stabilit, o variație medie de ± 2 bătăi pe minut a frecvenței ciclului cardiac, cu deviație standard de 1,4 și eroarea standard 0,2%. Valoarea medie a acurateței este de aproximativ 98,3%, ceea ce indică că algoritmul prototipului elaborat detectează destul de corect frecvența ciclurilor cardiace.

Pentru reprezentarea variabilității frecvenței ciclului cardiac (FCC) a datelor prelevate cu ajutorul prototipului, în raport cu media generală, a fost realizată diagrama Bland-Altman, unde se afișează variabilitatea și distribuția pentru intervalul de 40-100 bătăi/minut.

Cele două extreme reprezintă valorile de limite, care sunt egale cu media generală ±1,96×deviația standard. Valoarea 1,9 se atribuie pentru un grad de certitudine de 95% în cazul unei distribuții Gauss. Această analiză a datelor demonstrează că acuratețea algoritmului Pan-Tompkins, implementat pe dispozitivul elaborat, este în concordanță și apropiată de valoarea afișată de echipamentele medicale (ECG) folosite în medicină (fig. 3.3).

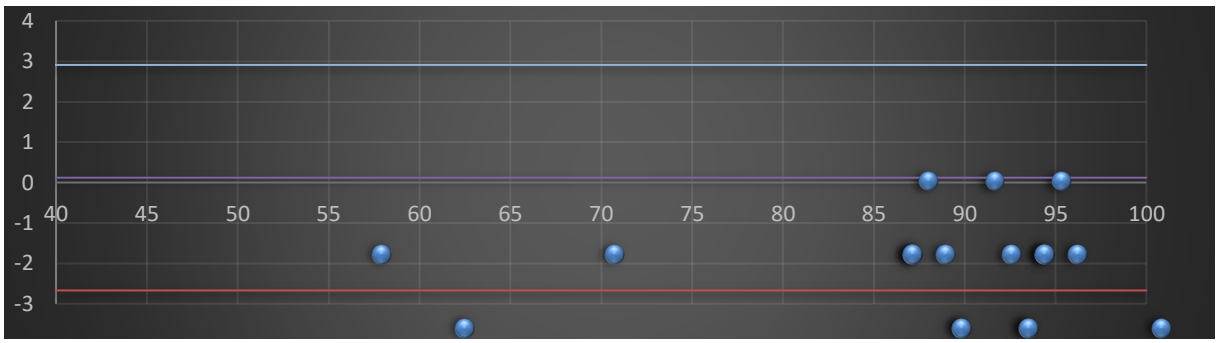


Fig. 3.3. Variabilitatea frecvenței ciclului cardiac

Totodată, s-a calculat valoarea medie a frecvenței ciclului cardiac pentru 5 măsurători, efectuate pe 10 subiecți, cu ajutorul prototipului elaborat, în comparație cu datele prelevate cu ajutorul electrocardiografului MAC2000.

În urma analizei datelor experimentale, s-a stabilit că valorile medii ale variabilității frecvenței cardiace, prelevate cu ajutorul prototipului, față de datele prelevate cu electrocardiograful MAC2000, are o abatere medie de ± 0,4 bătăi pe minut. Această diferență se află în limitele de eroare ± 3 bătăi pe minut, valori standard pentru electrocardiograf (fig. 3.4.).

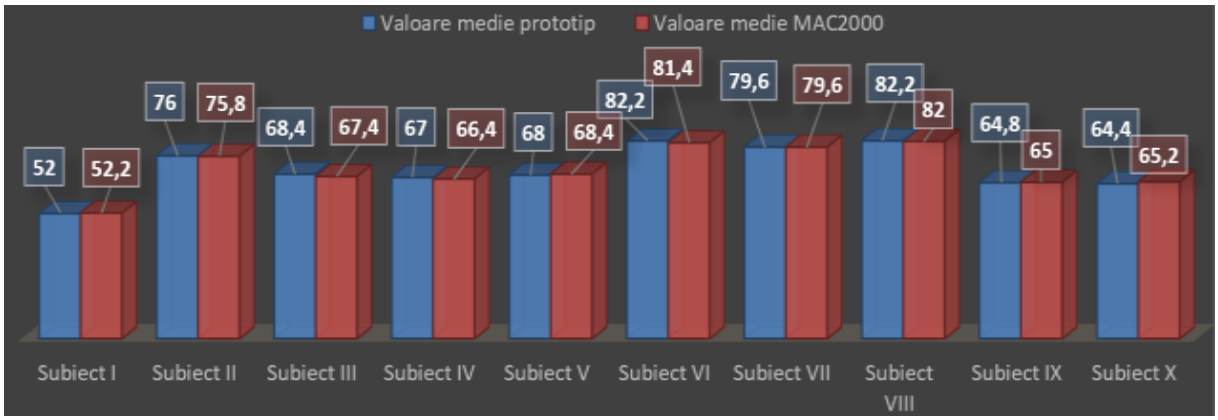


Fig. 3.4. Valorile medii a frecvenței ciclului cardiac

Pentru stabilirea stării sanogene a respirației s-a comparat valorile indicate pe display cu diapazonul prestabilit de 10-30 de respirații pe minut, această valoare este programabilă. Numărul de respirații depinde de mulți factori ca – sex, vârstă, greutate (gradul de obezitate), faza somnului (REM sau non-REM), dar și alți factori.

Mișcările cutiei toracice au fost detectate cu ajutorul tehnologiei măsurării transimpedanței toracice. Pentru măsurarea impedanței s-a folosit circuitul integrat ADS1292R, care are încorporat circuitul de detecție a mișcărilor cutiei toracice bazată pe variația rezistenței țesutului.

Datele sunt transmise prin interfața SPI către microcontroler, unde sunt analizate. Înregistrarea mișcărilor cutiei toracicei permite obținerea pneumogramei, cu o pantă ascendentă, care reprezintă inspirația și o pantă descendentă reprezentând expirația (fig. 3.5).

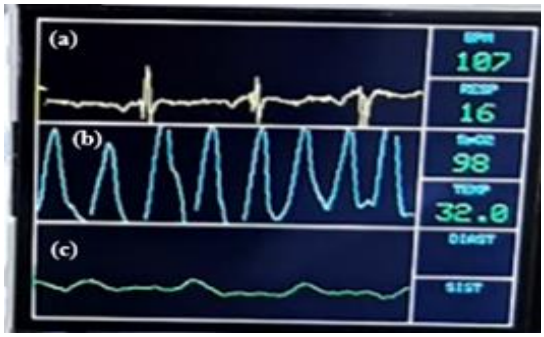


Figura 3.5. Pneumograma prelevată prin măsurarea impedanței

(a) - semnalul ECG, (b) - pneumograma, (c) - fotopletismograma

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

Tabelul 3.1. Compararea rezultatelor obținute cu ajutorul spirometriei și transimpedanței

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

Astfel, datele obținute relevă 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 respirației constituie 95,5%.

Drept concluzie, putem confirma cu certitudine că determinarea numărului de respirații prelevate cu ajutorul prototipului elaborat corespunde cu datele preluate cu ajutorul spirografului și poate fi propus pentru monitorizarea frecvenței respirației la distanță.

Totodată, s-a studiat dinamica modificărilor sincronice a frecvenței ciclului cardiac și a frecvenței respirației cu ajutorul prototipului elaborat (tab. 3.2.).

Tabelul 3.2. Modificările sincronice ale frecvenței ciclului cardiac și a frecvenței respirației

Subiectul	Vârsta (ani)	Sex	Greutate (kg)	Înălțime (cm)	FCC normal (BPM)	FCC cu reținerea respirației	FR normală	FR cu reținerea respirației
I	66	M	78	174	83	59	14	5
II	53	M	90	173	80	78	14	5
III	58	M	100	178	68	65	12	4
IV	69	M	86	173	70	66	14	5
V	30	M	103	182	75	65	14	4
VI	61	M	92	175	82	76	14	5
Media					76,3	68,2	13,7	4,7

Analiza datelor înregistrate evidențiază faptul că, odată cu scăderea frecvenței respirației, are loc sincron și scăderea frecvenței ciclului cardiac [4].

3.3. Integrarea senzorului de pulsoximetrie MAX30100

În contextul pandemiei de COVID-19, monitorizarea la timp a nivelului de saturație a oxigenului din sânge este foarte importantă pentru grupurile de persoane expuse riscului de infestare. Datorită faptului că măsurarea saturației oxigenului din sânge are loc non-invaziv, această metodă este candidatul perfect pentru aplicații de monitorizare continuă. O importanță vitală prezintă integrarea pulsoximetrului pentru măsurarea nivelului de oxigenare cu transmiterea ulterioară a informațiilor prin tehnologia Wi-Fi sau Bluetooth spre un smartphone sau calculator.

Pentru a determina veridicitatea datelor prelevate, a fost efectuată compararea datelor cu dispozitive certificate medical cu scopul evaluării deviației, erorii și acurateței. Pentru aceasta au fost testați 10 voluntari, folosind trei echipamente simultan. Metodologia experimentului constă în plasarea pacientului în poziție așezată pe scaun, iar la nivelul antebrațului s-a plasat prototipul. Preventiv, subiectul se afla în stare de repaus timp de 10 minute înainte de efectuarea testului. Senzorul MAX30100 s-a plasat la nivelul falangelor în paralel cu senzorul de la pulsoximetrul EDAN H100B și Contec CMS50D2, iar valorile parametrilor saturației oxigenului din sânge au fost introduse în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3. Datele comparative ale saturației oxigenului din sânge preluate pe 3 tipuri de dispozitive

Subiectul	Vârsta	Valoarea Prototip	Valoarea Contec CMS50D2	Valoarea EDAN H100B	Deviația	Eroarea (%)	Acuratețea (%)
I	30	98	97	98	0,5	0,511	99,48805
II	31	96	96	98	-1	-1,034	98,96552
III	70	96	98	97	-1,5	-1,546	98,45361
IV	66	97	98	98	-1	-1,023	98,97611
V	65	98	98	97	0,5	0,511	99,48805
VI	66	97	97	97	0	0	100
VII	60	99	97	98	1,5	1,530	98,46939
VIII	55	97	97	97	0	0	100
IX	46	99	98	97	1,5	1,53	98,46939
X	68	97	98	98	-1	-1,023	98,97611

Pentru determinarea deviației erorii standard, acurateței, datele preluate de la fiecare individ în parte au fost supuse unei analize statistice cu ajutorul programului EXCEL-2019. În rezultatul cercetărilor efectuate, s-a constatat că variabilitatea fața de dispozitivele industriale certificate medical este de ± 1%, acuratețea detectării saturației oxigenului din sânge a variat între 98% ÷ 100%, o deviație de ± 1%, iar marja de eroare standard are valoarea de 0,3%. Astfel, s-a stabilit, cu certitudine, că prototipul determină exact saturația oxigenului din sânge.

Pentru a ilustra gradul de certitudine, s-a creat diagrama Bland-Altman unde s-a afișat variabilitatea și distribuția cu o certitudine de 95% pentru intervalul 95-100 (fig. 3.6.).

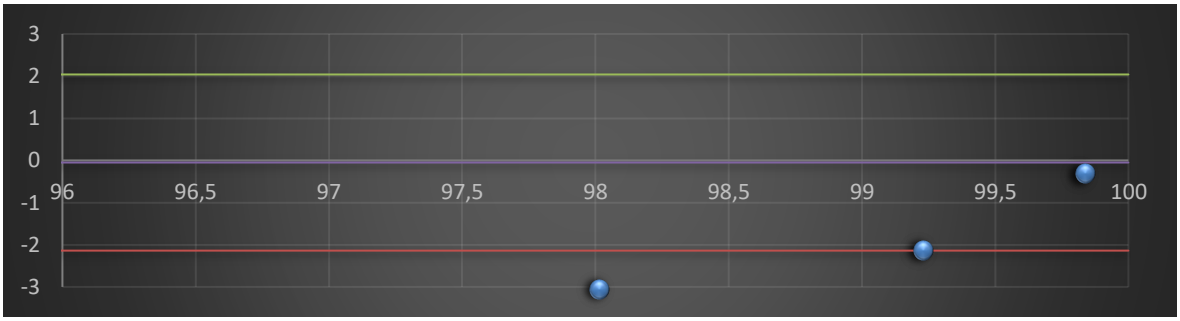


Fig. 3.6. Diagrama Bland-Altman pentru valorile saturației oxigenului din sânge

Limitele celor două extremități este egală cu media ± deviația standard ×1,96 (valoarea indică aria care ocupă 95% sub o curbă de distribuție normală).

Analiza statistică efectuată a demonstrat că acuratețea senzorului de pe prototipul elaborat este destul de veridică și apropiată de valoarea afișată de echipamentele certificate medical. Stabilitatea performanței pe prototip este, de asemenea, destul de stabilă, aceasta este adeverită de deviația standard mică. S-a stabilit că dependența liniară dintre cele 3 dispozitive este aproximativ echivalentă. Astfel, corelația este veridică pentru intervalul 95-100% cu o certitudine de 95%.

Așadar, folosind biosenzori optici, se poate determina saturația oxigenului din sânge, care este un parametru primordial în evaluarea stării pacientului.

3.4. Integrarea senzorului de temperatură MAX30205

Temperatura corpului uman poate reda rapid starea sănătății individului. Aceasta poate fi măsurată cu ajutorul unor dispozitive speciale, care sunt repartizate în 3 categorii – termometre, probe manuale non-contact, camere termale.

Pentru prototipul elaborat s-a utilizat un modul specializat elaborat de Protocentral LTD, care se bazează pe un cip MAX30205, special destinat măsurării temperaturii corpului uman. Pentru aplicații medicale este necesar de a satisface anumite cerințe legate de acuratețea și precizia de măsurare, care sunt expuse în standardul BS EN ISO 80601-2-56:2017. Din punct de vedere al preciziei, eroarea temperaturii nu trebuie sa depășească valoarea de ± 0,1°C, ceea ce corespunde cu parametrii tehnici ai cipului MAX30205.

Senzorul MAX30205 necesită un anumit timp pentru stabilirea echilibrului termic, astfel, perioada de determinare a temperaturii este mai îndelungată. Datele sunt sub formă numerică și se afișează pe display odată la 5 secunde. Pentru a compara precizia și acuratețea de măsurare a temperaturii corpului uman, s-au comparat datele prelevate de diferite tipuri de termometre cu senzorul de temperatură MAX30205 implementat pe prototip. Pentru comparare s-a folosit: un termometru digital, un termometru infraroșu și o camera termală. Pe antebrat timp de 15 minute s-

a atașat prototipul în care se prelevează valorile temperaturii corpului uman, ulterior, au fost înscrise în tabel (tab. 3.4.).

Tabelul 3.4. Temperatura corpului prelevată cu ajutorul prototipului și al termometrelor digital și infraroșu

Subiectul	Termometrul digital (la nivelul axilei)	Termometrul infraroșu (la nivelul antebrațului)	Termometrul infraroșu (la nivelul frunții)	Prototip (la nivelul antebrațului)	Termoscaner (la nivelul frunții)
1	2	3	4	5	6
I	36,5	35,2	35,4	35,8	35,3
II	37,0	36,4	36,8	36,1	36,2
III	36,7	35,4	36,3	35,5	36,3
IV	36,8	36,5	36,4	35,6	36,4
V	36,4	35,3	36,0	35,9	36,2
VI	36,4	35,3	35,6	35,6	35,4
VII	36,3	35,8	36,0	35,9	35,9
VIII	36,6	35,7	36,1	35,8	36,0
IX	36,9	35,8	36,5	35,4	36,5
X	36,5	35,7	36,3	35,3	36,4
Clasa de precizie	±0,1ºC	±0,1ºC	±0,1ºC	±0,1ºC	±0,1ºC

Pentru comparare, cu ajutorul unui termometru cu contact electronic, s-a determinat temperatura la nivelul axilei, iar la nivelul pielii (regiunea antebrațului), cu ajutorul unui termometru infraroșu și al camerei termale (nivelul frunții) (fig. 3.8.).



Fig. 3.8. Preluarea temperaturii corpului cu ajutorul prototipului și al camerei termale (a) - determinarea temperaturii cu ajutorul prototipului, (b) - camera termală Hikvision, (c) - afișarea rezultatului măsurării cu ajutorul camerei termale

În rezultatul analizei datelor obținute, s-a stabilit o diferență medie de 0,4ºC ± 0,1ºC a temperaturi măsurate cu prototipul bazat pe MAX30205 față de termometru infraroșu la nivelul antebrațului (tab. 3.4). Aceasta poate fi condiționată de faptul disipării căldurii prin intermediul plăcii de interconectare. Astfel, datorită suprafeței mari, în raport cu suprafața zonei de contact a senzorului de temperatură, sistemul termodinamic are nevoie de un timp mai îndelungat pentru a ajunge în starea de echilibru termic. Totodată, s-a stabilit că temperatura bazală diferă de cea măsurată la nivelul antebrațului, în medie mai mică cu cca 0,9ºC ± 0,1ºC. Dat fiind faptul că la nivelul antebrațul cantitatea de căldură transportată de sânge este mai redusă și depinde de starea

psihofiziologică a pacientului, poziția și impedanța termică, la nivelul antebrațului se înregistrează o temperatură mai mică decât la nivelul axilei care, la rândul său, poate fi cu 0,4 ÷ 0,5ºC mai mică ca temperatura bazală.

3.5. Determinarea tensiunii arteriale cu ajutorul metodei timpul de propagare al pulsului

Numărul de decese cauzat de bolile cardiovasculare deține întâietate în prezent, iar acest număr continuă să crească fie din cauza asistenței medicale întârziate, fie din lipsa mijloacelor de monitorizare în continuu a stării funcționale a sistemului cardiovascular. Hipertensiunea arterială reprezintă o problemă esențială de sănătate publică, fiind cea mai frecventă maladie cardiovasculară.

În ultimele decenii, au fost studiate și implementate metode continue și non-invazive bazate pe dependența invers proporțională dintre timpul de propagare al pulsului și tensiunea arterială. Timpul de tranzit al pulsului poate fi definit ca intervalul de timp dintre segmentul R al undei electrocardiografice și punctul caracteristic care coincide cu vârful undei anacrote a fotopletismogramei. Cu ajutorul prototipului a fost determinată valoarea timpului de propagare a pulsului prin determinarea intervalului de timp în care controlerul contorizează timpul între vârful undei R și vârful undei pletismografice (valoarea exprimată în milisecunde). Pacientului, în poziție așezată, i se aplică manșeta pe braț la nivelul inimii, iar pe torace se plasează electrozii de culegere a semnalului ECG. La nivelul falangelor se plasează senzorul de pulsoximetrie, care prelevează fotopletismografia. În paralel, s-a efectuat colectarea datelor cu ajutorul unui tonometru automat OMRON M2 Classic Intellisense, care determină tensiunea sistolică și diastolică prin metoda oscilometrică. Tonometrul și prototipul obligatoriu au fost plasate pe brațe diferite, spre evitarea stagnării circulației, care este indispensabilă în procesul preluării fotopletismografiei.

Pentru a analiza o variație mai mare a tensiunii arteriale, a fost implementat un regim de exerciții fizice (genuflexiuni), cu păstrarea unui interval de tensiune 110-140 mmHg pentru valoarea sistolică și 70-90 mmHg pentru cea diastolică. Scopul a fost de a asigura o variație mai mare a tensiunii arteriale și, respectiv, a timpului de tranzit al pulsului, astfel, relația de corelație matematică poate fi mai ușor determinată și va crește precizia sistemului.

Ulterior s-a efectuat corelarea dintre tensiunea arterială și timpul de propagare a pulsului cu ajutorul tehnicilor de statistică. Pentru aceasta s-a creat graficul de calibrare, care constă din valorile tensiunii arteriale sistolice și diastolice pe axa absciselor și valoarea timpului de propagare a pulsului exprimată în milisecunde pe axa ordonatelor (fig.3.9).

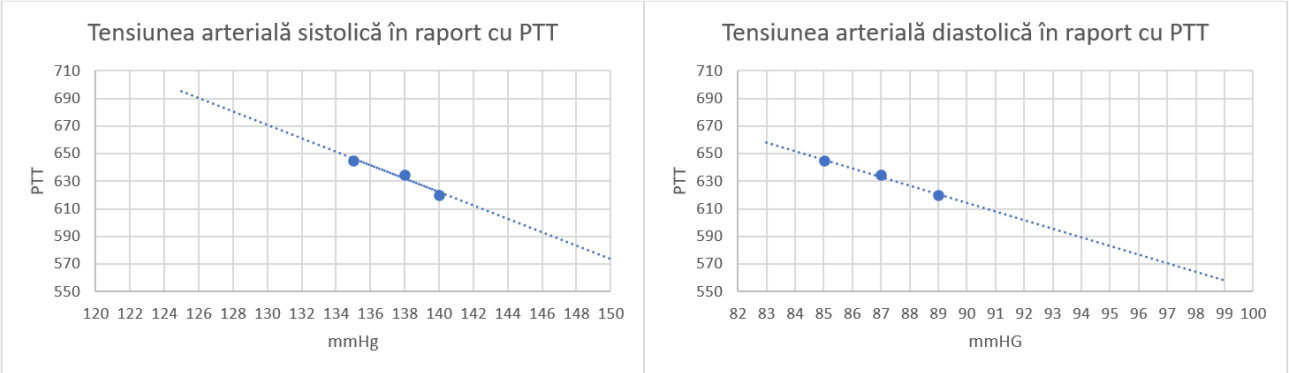


Fig. 3.9. Graficul regresiei liniare al dependenței tensiunii arteriale de timpul de propagare al pulsului (Pulse Transit Time)

În baza graficului obținut, sunt stabiliți coeficienții de corelație A și B care formează dependența dintre timpul de propagare al pulsului (Pulse Transit Time**)** și tensiunea arterială. Formula regresiei liniare este stabilită cu ajutorul programului de analiză statistică Microsoft Office Excel din graficul regresiei liniare. În etapa finală, s-au validat rezultatele obținute prin compararea datelor dintre valoarea tensiunii arteriale determinate cu ajutorul algoritmului timpului de propagare al pulsului și valoarea obținută cu tonometrul automat OMRON M2 Classic Intellisense. Datele au fost prelevate pe un eșantion de 10 voluntari în cadrul Serviciul Medical al M.A.I.

Algoritmul matematic determină timpul între cele două puncte caracteristice și apoi, apreciază care din valori sunt viabile. Datele sunt înscrise în memoria microcontrolerului și, apoi, se determină valoarea medie pentru fiecare 100 de valori, astfel, durata de determinare este de 1-2 minute. În baza mediei aritmetice, prin formulă matematică, s-au calculat valorile numerice pentru tensiunea sistolică și diastolic. Primele trei măsurări sunt preluate pentru extragerea valorilor coeficienților, precum și formula de calcul a regresiei liniare pentru curba de corelație dintre timpul de propagare a pulsului și tensiunea arterială. Următoarele 3 măsurări sunt preluate pentru analiza preciziei algoritmului, de unde se extrage valoarea medie. În baza datelor s-a calculat media, devierea standard și eroarea.

Conform datelor prelevate cu ajutorul prototipului elaborat, media erorii înregistrate constituie 3,8%, cu o medie a devierii de ±4,5 mmHg, cu o deviație standard de 3,2 pentru tensiunea sistolică. Pentru tensiunea diastolică media erorilor este de 3,6%, cu o deviere medie de ±0,8 mmHg, cu o deviație standard de 3,3. Acuratețea generală este de aproximativ 96,3%, astfel, algoritmul se dovedește a fi exact, comparativ cu metoda oscilometrică. Pentru a evalua veridicitatea între cele două tehnici de măsurare, s-a elaborat diagrama Bland-Altman pentru intervalul 60 – 150 mmHg (fig. 3.10). S-a demonstrat că metoda timpul de propagare a pulsului utilizată are o medie generală a eșantionului experimental de 2,6, cu o deviație standard de 3,7 și o eroare standard de 0,8%. Din cauza folosirii metodei regresiei liniare, se identifică și unele

neajunsuri care nu pot expune reglarea sistemului cardiovascular, de aceea este recomandat de a introduce parametri suplimentari ca, de exemplu, frecvența ciclurilor cardiace.

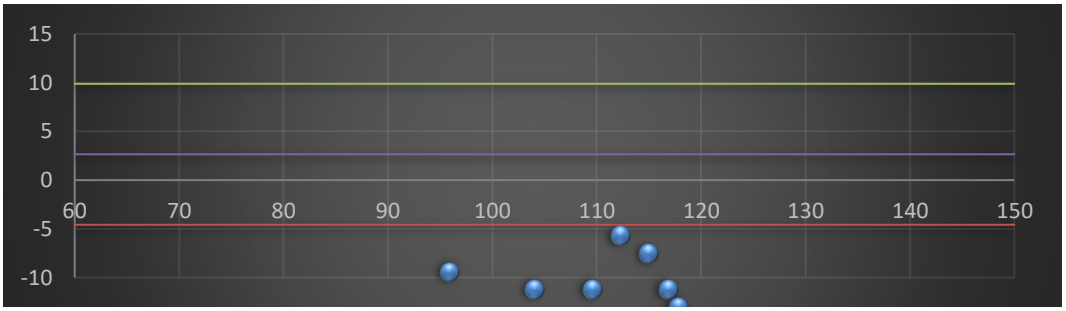


Fig. 3.10. Diagrama Bland-Altman pentru tensiunea arterială, determinată prin metoda timpul de propagare al pulsului

Pentru a reprezenta dependența tensiuni arteriale determinate cu ajutorul tonometrului automat, față de cea estimată cu ajutorul prototipului, a fost realizată curba de corelație dintre cele două metode de determinare, folosite în acest studiu (fig. 3.11). Analiza datelor obținute demonstrează că valorile tensiunii arteriale, măsurate cu ajutorul tonometrului automat, folosind metoda oscilometrică, în raport cu metoda de estimare a tensiuni arteriale prin corelația cu timpul de propagare al pulsului, extras din semnalele fiziologice ale electrocardiografiei și fotopletismografiei, cu ajutorul prototipului elaborat, are o corelare aproximativ liniară.

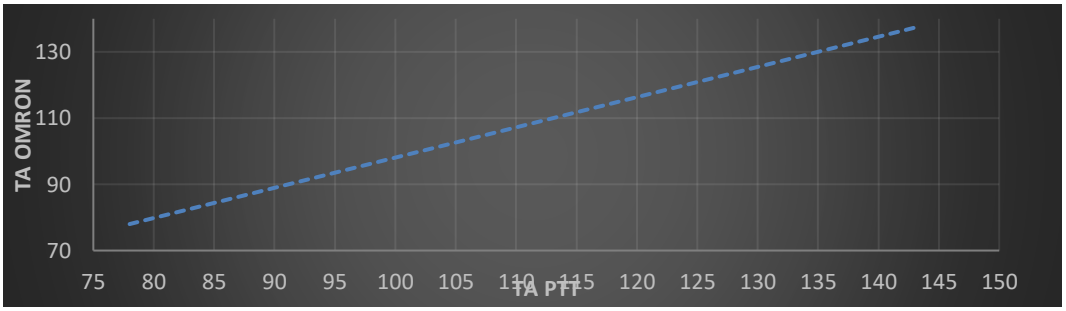


Fig. 3.11. Diagrama de corelare între metoda timpul de propagare al pulsului și cea oscilometrică

Astfel, a fost demonstrată eficacitatea utilizării metodei de determinare a tensiunii arteriale cu ajutorul metodei cuffless (timpul de propagare al pulsului), implementată pe prototip. Această metodă are avantajele unei ergonomii net superioare față de metoda oscilometrică, ceea ce se reflectă pozitiv asupra relației pacient-sistem, datorită unei portabilități și dimensiuni reduse a prototipului [5].

Metoda timpul de propagare al pulsului implementată are o acuratețe mai redusă comparativ cu metoda cu manșetă, dar pentru monitorizarea în dinamică este foarte bine-venită. Din punct de vedere a 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, datorită modificării proprietăților optice ale țesuturilor și diferențierilor între indivizi, în ceea ce privește curba de calibrare a timpului de

propagare a pulsului față de tensiunea arterială. Un avantaj pe care îl posedă sistemul elaborat este evitarea compresiei brațului, care duce la stagnarea circulației sanguine și poate provoca disconfort și durere. Așadar, algoritmul, implementat pe prototip, comparativ cu metoda oscilometrică, este valabil pentru monitorizarea tensiunii arteriale cu ajutorul metodei de determinare a timpului de propagare a pulsului. Acesta reprezintă un element de bază în elaborarea acestui sistem, datorită inovației introducerii sistemelor SoC și biosenzorilor în viața cotidiană a persoanelor cu boli cronice, spre asigurarea unui bun management al afecțiunilor cronice.

3.6. Concluzii la capitolul 3

1. Prototipul mobil de monitorizare la distanță a unor parametri funcționali ai sistemelor fiziologice vitale cardiovascular și respirator și a stării relative a sănătății somato-vegetative s-a elaborat și creat conform unui concept, conform căruia, colectarea, prelucrarea, extragerea informației din semnalele biomedicale și transmiterea lor la distanță se efectuează în baza metodologiei bioinginerești digitale și din contul dispozitivelor electronice, senzori, traductori și sisteme înglobate, adecvate, performante, de ultima generație, cu un consum redus de energie, dimensiuni mici, care reflectă adecvat și preventiv starea funcțională a sistemelor corespunzătoare și relativ a stării sănătății somato-vegetative.

2. S-a demonstrat că datele prelevate cu ajutorul prototipului elaborat au înregistrat o variație medie de ± 2 bătăi pe minut cu deviație standard de 1,4 și eroarea standard de 0,2%. Valoarea medie a acurateței este de aproximativ 98,3%, ceea ce indică că algoritmul Pan-Tompkins, implementat pe dispozitivul elaborat, detectează destul de corect frecvența ciclurilor cardiace și este în concordanță și apropiată de valoarea afișată de echipamentele medicale.

3. Frecvența respirației, determinată cu ajutorul prototipului elaborat, a înregistrat o deviație standard de 0,9, variația 0,8 și o eroare de 0,3%. Frecvența respirației, determinată cu ajutorul prototipului elaborat, a înregistrat o acuratețea generală de 95,5%.

4. S-a constatat că valorile SpO2, prelevate cu ajutorul prototipului elaborat, în raport cu dispozitivele industriale certificate medical, au înregistrat o deviație de ± 1%, marja de eroare standard constituie 0,3%, iar acuratețea detectării saturației oxigenului din sânge a variat între 98% ÷ 100%.

5. S-a înregistrat o diferență medie de 0,4 ºC ± 0,1ºC a temperaturi măsurate cu prototipul elaborat bazat pe MAX30205 față de termometru infraroșu la nivelul antebrațului

6. S-a stabilit că, datele colectate cu ajutorul prototipului elaborat, au înregistrat o medie a erorii, care constituie 3,8%, medie a devierii ± 4,5 mmHg și deviația standard de 3,2 pentru tensiunea sistolică. Pentru tensiunea diastolică, media erorii este de 3,6%, devierea medie de ± 0,8

mmHg și o deviație standard de 3,3. Acuratețea generală este de aproximativ 96,3%, astfel, algoritmul se dovedește a fi exact, comparativ cu metoda oscilometrică.

CAPITOLUL 4. ELABORAREA ȘI IMPLEMENTAREA ALGORITMULUI DE COMUNICARE WIRELESS, INTERFEȚEI GRAFICE ȘI TESTAREA CAPACITĂȚILOR FUNCȚIONALE ÎN ANSAMBLU A PROTOTIPULUI DE MONITORIZARE ÎN CONTINUU LA DISTANȚĂ

4.1. Sisteme de comunicare wireless și platforma IoT

Dezvoltarea sistemelor de procesare digitală a semnalelor și a biosenzorilor va conduce la schimbarea ideologei sistemului medical. Utilizarea tehnologiilor de comunicații fără fir reprezintă un element cheie pentru aplicațiile de monitorizare continuă a stării de sănătate a persoanei.

Arhitectura sistemului de comunicare a prototipului constă din 6 elemente principale: biosemnale, biosenzorii, modulul de prelevare, procesare și transmitere la distanță TTGO TM, punctul de acces Wi-Fi, serviciul Cloud și calculator (fig. 4.1).

S-a implementat un sistem bazat pe punct de acces wireless sub forma unui router și un protocol de comunicare mașină-mașină HTTP. Protocolul HTTP (Hypertext Transfer Protocol) reprezintă un protocol, de tip text, cu ajutorul căruia se pot transmite informații către un calculator aflat la distanță sau o adresă web.

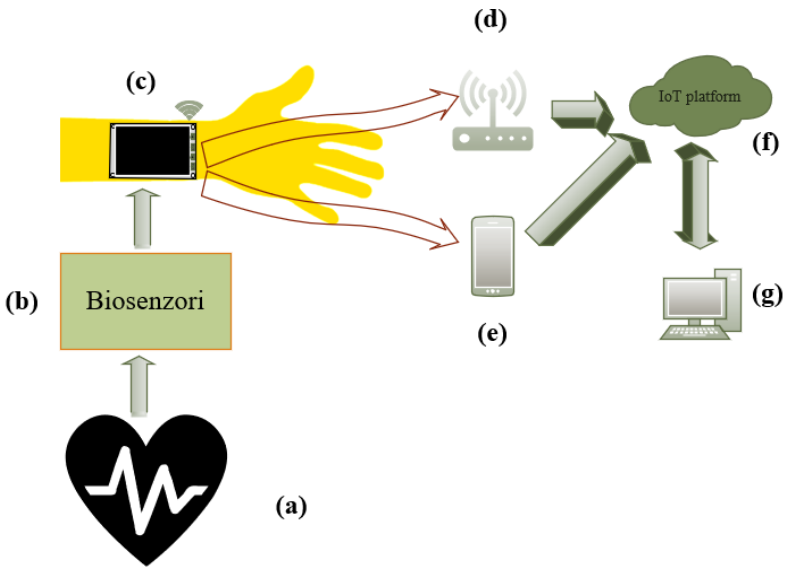


Fig. 4.1. Arhitectura sistemului de comunicare la distanță a sistemului elaborat (a) - biosemnale, (b) - biosenzori, (c) - modul TTGO TM, (d) - Wi-Fi Router, (e) - opțional Smartphone, (f) - platforma IoT, (g) - calculator

Platforma IoT AskSensor.com reprezintă un sistem Cloud care poate fi conectat la senzori, microcontrolere și sisteme înglobate, primind date în regim real, care pot fi analizate statistic și au capacitatea de a genera semnale de alarmă în caz de necesitate. Platforma permite comunicarea în baza protocolului TCP/IP, ceea ce oferă posibilitatea răspândirii în masă.

Pentru a vizualiza datele din Cloud, este necesar de a înregistra un cont în baza căruia se poate autentifica doar un singur utilizator. Platforma IoT asksensor.com va genera pentru fiecare grupare de senzori o cheie specială denumită API key (Application Programming Interface). Aceasta reprezintă un identificator unic folosit pentru autentificarea unui cont sau a unor date, și oferă un anumit set de priorități / drepturi pentru contul asociat cu această cheie.

S-a creat un canal de comunicare cu o cheie API unică, cu ajutorul căreia s-a colectat și stocat datele primite. Cheia API joacă rol de protecție a datelor și a canalului de comunicare, astfel, se asigură securitatea cibernetică a datelor. Pentru fiecare grup de senzori este alocată o cheie API unică care direcționează datele transmise doar spre un singur destinator.

Pentru fiecare grup de senzori s-a alocat 6 module diferite, iar datele pot fi afișate sub formă grafică. De asemenea, se poate vizualiza fluxul de date receptat cu cheia API sub formă tabelară unde se indică desfășurat datele primite.

Pentru transmitere s-a utilizat: cheia API și module cu valorile respective care, odată ce sunt transmise, vor fi expuse în graficul fiecărui modul în parte. Avantajele unui astfel de canal de comunicare reprezintă ușurința implementării și nivelul de securitate ridicat.

4.2. Evaluarea valorilor parametrilor fiziologici, ce reflectă preventiv starea sanogenă și dissanogenă a sistemului cardiorespirator cu ajutorul prototipului

Pentru a demonstra gradul de performanță a prototipului elaborat și a stabili funcționalitatea sistemul în ansamblu, s-a verificat capacitatea de analiză în dinamică a schimbărilor parametrilor vitali. Pentru aceasta s-a implementat un anumit protocol de detectare a variațiilor parametrilor vitali și de stabilire a limitelor sanogene / dissanogene a lor.

Programul codificat în limbajul C generează acest link cu un interval determinat de timpul de prelevare a tuturor datelor (frecvența ciclului cardiac, frecvența respirației, temperatura corpului, saturația oxigenului din sânge, tensiunea arterială sistolică, tensiunea arterială diastolică, coordonatele GPS).

Interfața constă din 6 grafice care reprezintă evoluția parametrilor: frecvența ciclului cardiac, frecvența respirației, temperatura corpului, saturația oxigenului din sânge, tensiunea arterială sistolică, tensiunea arterială diastolică (fig. 4.2.).

Din cele expuse mai sus, s-a demonstrat că utilizarea graficului ce reprezintă evoluția în dinamică a unui parametru vital prezintă varianta optimală de a reda rapid informațiile pe ecranul utilizatorului.

Avantajul folosirii unui sistem Cloud IoT reprezintă simplicitatea de realizare a interfeței grafice și transmiterea datelor la distanță. Astfel, s-a realizat un sistem de comunicare eficient și

rapid care expune informația în cel mai scurt timp și siguranță maximă. Formarea unui istoric al parametrilor vitali reprezintă un avantaj apreciabil pentru stabilirea anamnezei și a diagnosticului.



Fig. 4.2. Graficul evoluției în timp a parametrilor vitali

Astfel, se asigură accesul medicului care supraveghează de la terminal evoluția parametrilor vitali la cele mai noi date disponibile care apar pe interfața paginii web, ceea ce influențează pozitiv la dinamica stării de sănătate a pacientului.

Așadar, s-a elaborat un sistem de comunicare eficient și sigur, care asigură transmiterea în timp real a parametrilor vitali la distanță, folosind canale specializate de comunicare. Canalele de comunicare sunt interconectate cu ajutorul unor chei speciale API, ceea ce sporește gradul de securitate. De asemenea, un avantaj enorm reprezintă folosirea infrastructurii de internet drept domeniu de propagare a informației, astfel, datorită universalității și răspândirii la nivel global, nu sunt necesare echipamente specializate de comunicare.

Folosind interfața grafică, se poate vizualiza în regim real evoluția în dinamică a parametrilor vitali și se pot lua decizii rapide de acordare a primului ajutor în caz de necesitate.

Pentru declanșarea alertelor în cazurile dissanogenice s-a stabilit pentru fiecare parametru vital o condiție de activare în cazul când valoarea recepționată se află în afara diapazonului prestabilit. Astfel, dacă valoarea curentă care este recepționată este mai mică sau mai mare decât diapazonul sanogen al fiecărui parametru în parte, are loc declanșarea alarmei și transmiterea unui mesaj de alertă pe adresa de email predefinită. În platforma Cloud IoT se afișează harta cu

coordonatele prototipului unde se indică locația curentă a subiectului pentru a reduce timpul necesar localizări și acordării primului ajutor (fig. 4.3.).

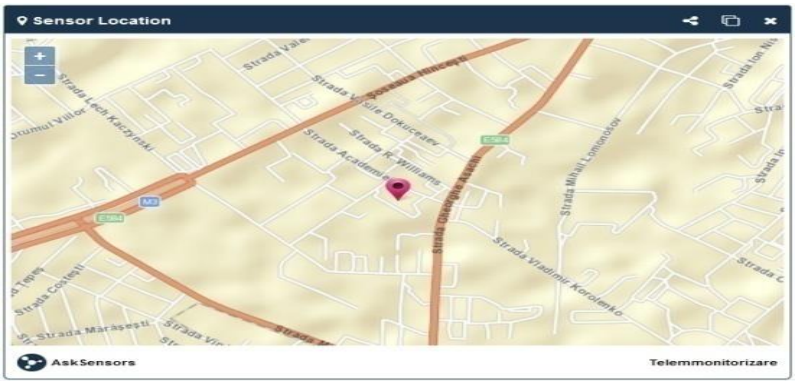


Fig. 4.3. Sistemul de geo-locația integrat în platforma IoT

Pachetul de date se transmite cu un interval de 2 minute (intervalul de determinare a tensiunii arteriale), pentru fiecare fiind alocat un punct pe grafic. Mesajul de alertă este transmis sub formă de mesaj e-mail unde sunt specificate cauzele declanșării alertei. Datele includ denumirea modulului, valoarea determinată și sunt transmise într-un anumit interval de timp.

Parametri transmiși sunt păstrați în memoria platformei IoT și, la necesitate, datele pot fi descărcate în memoria calculatorului și supuse unei analize amănunțite. Alerta se prezintă sub forma unui mesaj mail care a fost transmis la adresa predefinită. În mesaj sunt specificate data și ora detectării, valorile critice și valoarea care a declanșat alerta (fig. 4.4.).

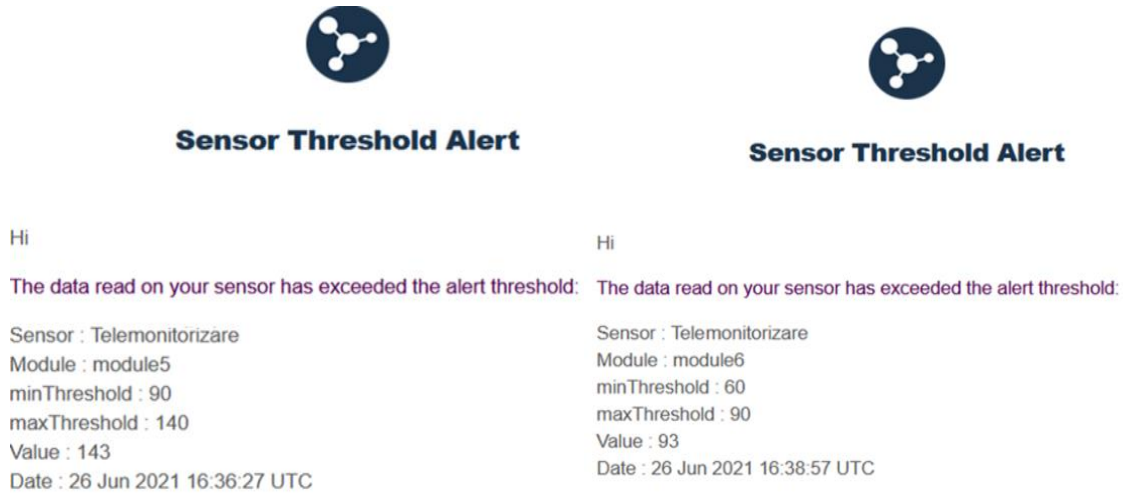


Fig. 4.4. Alertele detectării valorilor critice pentru TA sistolică și diastolică

Așadar, s-a obținut un sistem de telemonitorizare a parametrilor vitali care în baza algoritmilor de analiză a datelor de la biosenzori, transmit informația cu ajutorul unor canale speciale de comunicare care conțin un identificator unic spre platforma Cloud. S-a creat o interfață mașină-utilizator grafică cu ajutorul căreia se pot vizualiza evoluția în dinamică a parametrilor vitali, valorile numerice și modificarea limitelor sanogene.

Sunt introduse sisteme de alertă care sunt activate în caz că parametrii monitorizați depășesc limitele sanogene. Acești parametri pot fi personalizați pentru condiția optimă a fiecărui pacient.

Astfel, se asigură o eficacitate maximă a terapiei. Asemenea sistem automat de detectare / alertare și analiză adecvată a semnalelor vitale cu capacitate de stocare în baza de date, are un impact major asupra sistemului medical.

Tehnologia informațională şi cea medicală se combină armonios în sistemele de monitorizare a parametrilor vitali – o posibilă „aspirație" a tehnologiilor secolului 21, care reprezintă un instrument extrem de util în managementul bolilor sistemului cardiorespirator.

4.3. Concluzii la capitolul 4

1.Utilizarea în prototipul elaborat a sistemului de comunicare Wireless, a canalelor specializate de comunicare, interconectate cu chei speciale API, a platformei IoT și folosirea infrastructurii de internet drept cale de propagare a informației, asigură transmiterea adecvată în timp real la distanță a parametrilor fiziologici vitali.

2.Testarea capacităților funcționale, în ansamblu, a prototipului, prin evaluarea prelevării, stocării și analizei valorilor parametrilor fiziologici în dinamică, detectării / alertării semnalelor sanogene și disanogene, eficientizării sistemei de comunicare a informației prin infrastructura de internet, a demonstrat posibilitățile funcționale performante în monitorizarea în continuu, la distanță, a unor parametri fiziologici vitali.

5. CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Rezultatele obținute în cadrul tezei de doctorat „**Elaborarea unui sistem de monitorizare a stării sănătății sistemului cardiorespirator**" corelate cu ipoteza, scopul și obiectivele de cercetare propuse, au condus la formularea următoarelor concluzii generale:

1**.** Analiza datelor bibliografice a permis de a confirma rolul hotărâtor al sistemelor fiziologice cardiovascular și respirator nu numai în asigurarea vitalității de bază a organismului și în realizarea activității de fiecare zi, dar și în evidențierea semnificațiilor acestor sisteme pentru valorificarea reacțiilor emoțional-cognitiv-comportamentale de apărare prin antrenarea filogenetică determinantă acestor sisteme și în formarea / menținerea sănătății somato-vegetative. Prin ce, s-a demonstrat posibilitatea utilizării parametrilor fiziologici ai sistemelor menționate (frecvența ciclului cardiac, frecvența respirației, temperatura corpului, saturația sângelui cu oxigen, tensiunea arterială sistolică, tensiunea arterială diastolică) în vederea monitorizării lor la distanță, ca indicatori de obținere a informației despre starea relativă a sănătății întru organizarea operativă de restabilire a homeostazei funcțiilor dereglate și de menținere a nivelului relativ de sănătate somato-vegetativă.

2**.** Arhitectura selectării și îmbinării elementelor constitutive ale prototipului purtabil de telemonitorizare la distanță a unor parametri fiziologici a fost elaborată în baza unor semnale ale funcțiilor sistemelor fiziologice vitale cardiovascular și respirator (frecvența ciclului cardiac,

frecvența respirației, temperatura corpului, saturația sângelui cu oxigen, tensiunea arterială sistolică, tensiunea arterială diastolică), ce reflectă starea funcțională preventivă a sistemelor corespunzătoare și relativă a sănătății somato-vegetative.

3. Prototipul mobil de monitorizare la distanță a unor parametri funcționali ai sistemelor fiziologice vitale cardiovascular, respirator și relativ ai sănătății somato-vegetative s-a elaborat și creat în corespundere cu un concept conform căruia colectarea, prelucrarea, extragerea informației din semnalele biomedicale și transmiterea lor la distanță se efectuează în baza unor sisteme înglobate performante, senzori digitali cu un consum redus de energie și dimensiuni mici, care reflectă adecvat și preventiv, starea funcțională a sistemelor corespunzătoare și, relativ, a stării sănătății somato-vegetative.

4. Testarea capacităților funcționale în ansamblu a prototipului prin evaluarea prelevării, stocării și analizei valorilor parametrilor fiziologici în dinamică, detectării / alertării semnalelor sanogene și dissanogene, eficientizării sistemului de comunicare a informației prin infrastructura de internet, a demonstrat posibilități funcționale performante în monitorizarea în continuu la distanță a unor parametri fiziologici vitali.

5. Nivelul autentic și eficient de telemonitorizare a parametrilor fiziologici, colectați cu ajutorul prototipului elaborat, a fost obținut în baza prelevării biosemnalelor, analizei și transmiterii automate a datelor fără fir, prin folosirea canalelor speciale de comunicare interconectate cu chei speciale API, a algoritmilor de analiză a datelor de la biosenzori, conexiuni Wireless, pentru transmiterea valorilor numerice ale parametrilor, utilizând infrastructura de internet, drept domeniu de propagare a informației. Acestea, fiind păstrate în memoria platformei IoT, pot fi descărcate în memoria calculatorului pentru analiză suplimentară. Sistemul integrează o interfață grafică de vizualizare a evoluției parametrilor fiziologici, submeniu de management al alertelor în cazul depășirii valorilor numerice sanogene și transmiterea alertei spre un centru de asistență medicală.

RECOMANDĂRI PRACTICE

1. În scopul telemonitorizării stării funcționale a celui mai important și vulnerabil sistem fiziologic – cardiorespirator este necesară organizarea producerii sistemului elaborat de telemonitorizare pentru acordarea la timp a ajutorului medical.
2. În vederea menținerii sănătății somato-vegetative este necesar de a elabora și implementa la orele de biologie în licee a unui algoritm de citire și recunoaștere a limitelor critice ale indicatorilor principali funcționali ai sistemului cardiorespirator și de acordare a primului ajutor medical pacienților cu dereglări ale acestui sistem.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. BOTNARU, N. M. Telemonitorizarea sănătății – solicitarea incontestabilă a zilei. In: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. 2017, 2(332), pp. 38-49. ISSN-1857-064X. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/38_49_Telemonitorizarea%20sanatatii%20-%20 solicitarea%20incontestabila%20a%20zilei.pdf.
2. BOTNARU, N. M. Telemedicina: impactul economic şi social. In*: Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii. Buletinul* 2019, 2(338), pp. 62-73. ISSN 1857-064X. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/62-73_0.pdf.
3. BOTNARU, N. M. Telemedicina – medicina viitorului. In: *Mater. conf. ştiinţ. intern. „Învăţământ superior: tradiţii, valori, perspective" Ştiinţe Exacte şi ale Naturii şi Didactica Ştiinţelor Exacte şi ale Naturii*. Chișinău, 29-30 septembrie 2020, Vol. 1, pp. 82-86. ISBN 978-9975-76-312-7. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/114408.
4. BOTNARU, N. M. Telemonitorizarea în dinamică a funcțiilor și stării sistemului cardiorespirator la om. In: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. 2020, 3(342), pp.79-95. ISSN 1857-064X. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/79-95.pdf.
5. BOTNARU N. M. O nouă metodă de determinare și transmitere la distanță a valorilor tensiunii arteriale utilizând sisteme cuffless (pulse transit time) In: *Studia Universitatis Moldaviae. Seria ştiinţe reale şi ale naturii,* 2021, nr.6 (146), p.44-48, ISSN 1814-3237. https://ibn.idsi.md/ vizualizare_articol/143834
6. Hotărârea 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.
7. Proiect privind aprobarea Strategiei naționale de e-Sănătate 2020 disponibil: https://www. who.int/goe/policies/moldova_Strategia-eSanatate-si-Planul-de-implementare2020.pdf?ua1.
8. SĂNDULESCU, Loredana. Interesul față de telemedicină a crescut cu peste 500%. In: revistabiz.ro. 2020, 24 aprilie. [citat 15.07.2020] disponibil: https://www.revistabiz.ro /interesul-fata-de-telemedicina-a-crescut-cu-peste-500/.
9. STILPEANU, Diana-Maria. Telemedicina| un mijloc eficient de a comunica cu pacienții în carantină. În: MediJobs.ro. 2020, 20 martie. [citat 15.10.2020] disponibil: https://medijobs.ro /blog/telemedicina-un-mijloc-eficient-de-a-comunica-cu-pacientii-in-carantina.
10. ȘTEFAN, Andreea. Congresul Național Bolile Cronice Netransmisibile: aproximativ 40 de milioane de oameni mor anual din cauza acestor afecțiuni. In: *RoHealthReview*. 2020,21 feb. [citat 30.05.2020] disponibil: https://rohealthreview.ro/live-congresul-national-bolile-cronice-netransmisibile-40-milioane-oameni-mor-anual/.
11. ADS129X Low - Power, 2-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements. SBAS502C - December 2011 - Revised April 2020, Texas Instruments.

12. AWS, Z. S., ROSMINA, J., EDMOND, Z., GAN, K. B. A novel wave form mirroring technique for systolic blood pressure estimation from anacrotic photoplethysmogram. In: Journal of Engineering Science and Technology. 2018,Vol.13, No.10. pp.3252 - 3262.
13. BRENNAN, TA., LEAPE, LL., LAIRD, NM. 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. V. 324. No 6. pp. 370-376. ISSN: 0028-4793.
14. Global digital health market size between 2015 and 2025, by major segment [cited 31.10.2017] disponibil la: https://www.statista.com/statistics/387867/value-of-worldwide-digital-health-market-forecast-by-segment.
15. Global Market Insight : Digital Health Market Size By Technology. [cited 20.10.2020] disponibil la: https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-health-market.
16. 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. No. (6). pp. 377-384. ISSN: 0028-479.
17. MAX30100 Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health. Datasheet 19-7065 Rev 0. Maxim Integrated, 2014 p.29.
18. MAX30205 Human Body Temperature Sensor. Datasheet 19-8505, Rev 0, Maxim Integrated, 2016. p.15.
19. PAN, J.,TOMPKINS, W.J. A real-time QRS detection algorithm. In: *IEEET rans .Biomed. Eng.*, 1985. Vol. BME-32, No.3.pp. 230-236. ISSN: 1558-2531.
20. Remote patient monitoring revenues to reach € 46.1 billion in 2023. In: IoT.Business. News 2019, 28 Ianuarie. [cited 06.05.2019] disponibil: http://iotbusinessnews.com/2019/01/28 /22622-remote-patient-monitoring-revenues-to-reach-e-46-1-billion-in-2023.
21. SURENDHRA, G., JAYANTHI, T. Cuffless Continuous Non-Invasive Blood Pressure Measurement Using Pulse Transit Time Measurement. In: *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, 2014. Vol. 2, Issue 1. ISSN 2347-6435.
22. TOMPKINS, W. J., Biomedical Digital Signal Processing: C-language examples and laboratory experiments for the IBM PC. Prentice Hall,1993. ISBN 0-13-067216-5.
23. YANG, G.Z. Body Sensor Networks. L.*: Springer,* 2006.ISBN 978-1-4471-6374-9.
24. ФУРДУЙ, Ф. И., ЧОКИНЭ, В. К., ФУРДУЙ, В. Ф. Три важнейшие проблемы физиологии и санокреатологии, детерминирующие состояние здоровья общества. Пути их решения (Пленарный доклад на IV-ом Съезде физиологов СНГ). In: *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele Vieţii,* 2015.Vol. 1(325). cc. 4-17.
25. ФУРДУЙ, Ф.И, ЧОКИНЭ, В.К., ФУРДУЙ, В.Ф., ГЛИЖИН, А.Г., ВРАБИЕ, В.Г., ШЕПТИЦКИ, В.А. Трактат о научных и практических основах санокреатологии. Том.1. „Проблема здоровья. Санокреатология. Потребность общества в ее развитии". Кишинэу, 2016, 228 с.

26.ФУРДУЙ, Ф. И., ЧОКИНЭ, В. К., ГЛИЖИН, А. Г., ФУРДУЙ, В. Ф., ВРАБИЕ, В. Г., ГЕОРГИУ, З. Б., БЕРЕЗОВСКАЯ, Е. С., КУЦУЛАБ, А. М., **БОТНАРУ, Н. М**., ШАВДАРИ, Л. В., БУЛАТ, О. В., ВУДУ, В. Г., ГОЛОВАТЮК, Л. Б. Санокреатология – новая биомедицинская наука, призванная решить проблему здоровья. В: *Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции* „*Современные достижения науки и пути инновационного восхождения экономики региона, страны".* Комрат: „Прогресс", (18 мая, 2017), сс. 385-392. ISBN 978-9975-83-0553. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/138116.

LISTA LUCRĂRILOR ȘTIINȚIFICE PUBLICATE LA TEMA TEZEI

2. Articole în reviste științifice

2.3. în reviste din Registrul Național al revistelor de profil (Cat. B, C)

1. **BOTNARU, N.M.** Telemonitorizarea sănătății – solicitarea incontestabilă a zilei. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. 2017, nr. 2(332), 38-49. ISSN-1857-064X. (Cat. B)
2. **BOTNARU, N. M.** Telemedicina: impactul economic şi social. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. 2019, nr. 2(338), 62-73.ISSN 1857-064X. (Cat. B)
3. **BOTNARU, N. M**. Telemonitorizarea în dinamică a funcțiilor și stării sistemului cardiorespirator la om. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii.* 2020, nr. 3(342), 79-95. ISSN 1857-064X. (Cat. B)
4. **BOTNARU N.** O nouă metodă de determinare și transmitere la distanță a valorilor tensiunii arteriale utilizând sisteme cuffless (pulse transit time). *Studia Universitatis Moldaviae. Ştiinţe Reale şi ale Naturii.* 2021. nr. 6(146), 44-48, ISSN 1814-3237. (Cat. B)

3. Articole în culegeri științifice

3.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

5. ФУРДУЙ, Ф. И., ЧОКИНЭ, В. К., ГЛИЖИН, А. Г., ФУРДУЙ, В. Ф., ВРАБИЕ, В. Г., ГЕОРГИУ, З. Б., БЕРЕЗОВСКАЯ, Е. С., КУЦУЛАБ, А. М., **БОТНАРУ, Н. М**., ШАВДАРИ, Л. В., БУЛАТ, О. В., ВУДУ, В. Г., ГОЛОВАТЮК, Л. Б. Санокреатология – новая биомедицинская наука, призванная решить проблему здоровья. В: Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции «*Современные достижения науки и пути инновационного восхождения экономики региона, страны*». 18 мая 2017. Комрат: «Прогресс», 2017, с. 385-392. ISBN 978-9975-83-055-3.

3.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

6. **BOTNARU, N.M.** Telemedicina – medicina viitorului. Conferința științifică cu participare internațională „*Învăţământ superior: tradiţii, valori, perspective*". 29-30 septembrie 2020. Chişinău: UST, 2020, Vol. 1, c. 82-86. ISBN 978-9975-76-312-7.

ADNOTARE

Botnaru Nicolai: „Elaborarea unui sistem de monitorizare a stării sănătății sistemului cardiorespirator”, teza de doctor în științe biologie, Chișinău, 2022.

Structura tezei: introducere, 4 capitole, concluzii și recomandări, bibliografie din 273 de surse, anexe, 127 de pagini text de bază, 7 tabele, 53 figuri. Rezultatele obținute au fost tipărite în 6 publicații științifice.

Cuvinte cheie: parametri fiziologici, tensiune arterială, frecvența respirației, frecvența contracțiilor cardiace, saturația oxigenului din sânge, temperatură corpului, sănătate somato-vegetativă, monitorizare la distanță.

Scopul: fundamentarea utilizării unor indici fiziologici reprezentativi ai sistemelor vitale cardiovascular și respirator în calitate de indicatori ai unui dispozitiv (prototip) de telemonitorizare în dinamică a activităților funcționale preventive a stării sănătății somato-viscerale a organismului.

Obiective: Analiza practicii utilizării tehnologiilor de monitorizare la distanță a unor funcții ai sistemelor cardiovascular și respirator; estimarea parametrilor fiziologici (tensiunea arterială, frecvența respirației, frecvența contracțiilor cardiace, saturația oxigenului din sânge, temperatură corpului), utilizarea cărora, într-un sistem de telemonitorizare, ar permite evaluarea preventivă a activității funcționale a sistemului cardiorespirator și a stării relative a sănătății somato-vegetative la distanță; elaborarea unui sistem de monitorizare a unor indici reprezentativi ai funcțiilor sistemului cardiorespirator în scopul evaluării la distanță a activității funcționale a acestuia și a stării relative a sănătății somato-vegetative; elaborarea unei interfețe specializate de vizualizare și analiză a informației fiziologice despre activitatea sistemului cardiorespirator; elaborarea modulului de transmitere a informației cu ajutorul rețelelor de comunicare, în caz de necesitate; testarea capacităților funcționale în ansamblu cu sistemului de telemonitorizare în continuu la distanță.

Noutatea și originalitatea științifică: rezidă în argumentarea unui concept privind identificarea unor sisteme fiziologice și a parametrilor funcționali ce ar reflecta starea lor funcțională relativă și a sănătății somato-vegetative și ar putea servi ca indicatori de telemonitorizare, elaborarea unui prototip original de monitorizare la distanță.

Originalitatea rezultatelor: constă în crearea unui sistem inedit de monitorizare la distanță a unor parametri vitali în baza componentelor structurale constitutive performante, specializate, care, cu ajutorul unor algoritmi speciali, calculează parametrii corespunzători. În cazul dereglării acestora are loc declanșarea alarmei și transmiterea unui mesaj pe adresa de email predefinită.

Problema științifică: fundamentarea și efectuarea studiilor interdisciplinare în fiziologie (sanocreatologie) și inginerie biomedicală în scopul elaborării și creării unui sistem de telemonitorizare la distanță în continuu a unor parametri vitali.

Importanța teoretică: constă în realizarea noilor posibilități de a studia derularea mecanismelor constituirii, maturizării și stabilizării în ontogeneză a funcțiilor sistemelor fiziologice vitale – cardiovascular și respirator și rolul acestora în formarea și reglarea sănătății somato-vegetative.

Valoarea aplicativă: este determinată de solicitările științelor: fiziologia omului și animalelor, sanocreatologia, medicina, bioingineria, de a studia modificările funcțiilor sistemelor fiziologice vitale în dinamică la distanță și la timp a întreprinde acțiuni de prevenție și recuperare.

Implementarea rezultatelor: rezultatele obținute sunt utilizate în cadrul Serviciului Medical MAI și în cercetările științifice din Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie. Totodată rezultatele obținute pot fi utilizate și în cercetări științifice ce țin de analiza datelor, studierea eficienței reprezentării informației în diminuarea morbidității și mortalității persoanelor monitorizate la distanță.

ANNOTATION

Botnaru Nicolai: "Elaboration of a monitoring system of the health of the cardiorespiratory system", PhD thesis in biology, Chisinau, 2022.

Thesis structure: introduction, 4 chapters, conclusions and recommendations, bibliography from 273 sources, annexes, 127 pages of basic text, 7 tables, 53 figures. The obtained results were printed in 6 scientific publications.

Keywords: physiological parameters, blood pressure, frequency of respiration, heart rate, oxygen saturation in the blood, body temperature, somato-vegetative health, remote monitoring.

Purpose: to substantiate the use of some representative physiological indices of the vital cardiovascular and respiratory systems as indicators of a device (prototype) for dynamic telemonitoring of preventive functional activities of state somato-visceral health of the body.

Objectives: Analysis of the practice of using technologies for remote monitoring of cardiovascular and respiratory system functions; estimation of physiological parameters (blood pressure, respiration rate, heart rate, blood oxygen saturation, body temperature), the use of which, in a telemonitoring system, would allow the preventive assessment of the functional activity of the cardiorespiratory system and the relative state of somato-vegetative health at distance; elaboration of monitoring system of some representative indices of the functions of the cardiorespiratory system in order to remotely evaluate its functional activity and the relative state of somato-vegetative health; elaboration of a specialized interface for visualization and analysis of physiological information about the activity of the cardiorespiratory system; elaboration of the information transmission module with the help of communication networks, in case of need; testing the overall functional capabilities with continuous remote monitoring system.

Scientific novelty and originality: consist in argumentations of a concept regarding identification of some physiological systems and their functional parameters that would reflect their relative functional state and somato-vegetative health and could serve as indicators of telemonitoring and elaborations of an original prototype of remote monitoring.

Originality of the results: it consists in the creation of a unique system for remote monitoring of some vital parameters based on high-performance, specialized which, with help of special algorithms, calculate the corresponding parameters. In the event of their failure, the alarm is triggered and a message is sent to the predefined email address

The scientific problem: the substantiation and conduct of interdisciplinary studies in physiology (sanocreatology) and biomedical engineering in order to develop and create systems of continuous remote monitoring of some vital parameters.

Theoretical importance: it consists in realizing the new possibilities to study the development of the mechanisms of constitution, maturation and stabilization in ontogenesis of the functions of vital physiological systems - cardiovascular and respiratory and their role in the formation and regulation of somato-vegetative health.

The applicative value: is determined by the demands of the sciences: human and animal physiology, sanocreatology, medicine, bioengineering, to study changes of the functions of vital physiological systems in remote dynamics and in time to take preventive and recovery actions.

Implementation of results: the obtained results are used within Medical Service of Ministry of Internal Affairs and in the scientific researches from the Institute of Physiology and Sanocreatology. At the same time, the results obtained can be used in scientific researches related to data analysis, studying the effectiveness of information representation in reducing the morbidity and mortality of remotely monitored people.

АННОТАЦИЯ

Ботнару Николай: "Разработка системы мониторинга состояния здоровья кардиореспираторной системы", кандидатская диссертация по биологии, Кишинев, 2022.

Структура диссертации: введение, 4 главы, выводы и рекомендации, библиография из 273 источников, приложения, 127 страниц основного текста, 7 таблиц, 53 рисунка. Полученные результаты напечатаны в 6 научных публикациях.

Ключевые слова: физиологические параметры, артериальное давление, частота дыхания, частота сердечных сокращений, насыщение крови кислородом, температура тела, соматовегетативное здоровье, дистанционный мониторинг.

Цель: обосновать использование репрезентативных физиологические показателей жизнедеятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем в качестве индикаторных компонентов устройства (прототипа) для их динамического теле мониторинга с целью профилактических оперативных мероприятий поддержанию состояния сомато-висцерального здоровья организма.

Задачи: Анализ практики использования технологий дистанционного мониторинга функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем; идентификация физиологических параметров (артериальное давление, частота дыхания, частота сердечных сокращений, насыщение крови кислородом, температура тела), использование которых как индикаторы в системе теле мониторинга позволило бы на расстоянии проводить оценку функциональную активность кардиореспираторной системы и относительное состояние сомато-вегетативного здоровья организма; разработка системы мониторинга некоторых репрезентативных показателей функций кардиореспираторной системы для дистанционной оценки ее функциональной активности и относительного состояния сомато-вегетативного здоровья; разработка специализированного интерфейса для визуализации и анализа физиологической информации о деятельности кардиореспираторной системы; разработка модуля передачи информации с помощью сетей связи, в случае необходимости; тестирование функциональных возможностей в связке с системой непрерывного дистанционного мониторинга.

Научная новизна и оригинальность: заключается в обосновании концепции идентификации физиологических систем и их функциональных параметров, которые бы отражали их относительное функциональное состояние и соматовегетативное здоровье и могли бы служить индикаторами теле мониторинга и создание оригинального прототипа мониторизации на расстояние.

Оригинальность результатов: заключается в создании уникальной системы дистанционного мониторинга жизненно важных параметров на основе высокопроизводительных, специализированных составных структурных компонентов, которые с помощью специальных алгоритмов рассчитывают соответствующие параметры. В случае их сбоя срабатывает сигнализация и отправляется сообщение на заранее заданный адрес электронной почты

Научная проблема: обоснование и проведение междисциплинарных исследований в области физиологии (санокреатологии) и биомедицинской инженерии в целях разработки и создания систем непрерывного дистанционного мониторинга жизненно важных параметров.

Теоретическая значимость: заключается в реализации новых возможностей изучения развития механизмов конституции, созревания и стабилизации в онтогенезе функций жизненно важных физиологических систем - сердечно-сосудистой и дыхательной и их роли в формировании и регуляции соматовегетативного здоровья.

Прикладное значение: определяется потребностями наук: физиологии человека и животных, санокреатологии, медицины, биоинженерии, изучать изменения функций жизненно важных физиологических систем в динамике для своевременного принятия профилактических и оздоровительных мер.

Внедрение результатов: полученные результаты используются в Медицинской службе МВД и в научных исследованиях Института Физиологии и Санокреатологии. В то же время полученные результаты могут быть использованы в научных исследованиях, связанных с анализом данных, изучением эффективности представления информации в снижении заболеваемости и смертности людей, мониторинг которых осуществляется дистанционно.

BOTNARU NICOLAI

ELABORAREA UNUI SISTEM DE MONITORIZARE A STĂRII SĂNĂTĂȚII SISTEMULUI CARDIORESPIRATOR.

165.01 – FIZIOLOGIA OMULUI ȘI ANIMALELOR

Rezumatul tezei de doctor în științe biologice

Aprobat spre tipar: 04.03.2022	Formatul hârtiei A4
Hârtie ofset. Tipar digital	Tiraj 50 ex.
Coli de tipar: 1,9	Comanda nr.

Tiparul: Tipografia Universității de Stat din Tiraspol,

Str. Ghenadie Iablocikin, 5, MD-2069, Chișinău, Republica Moldova