

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA**

Cu titlu de manuscris
C.Z.U:612.17:004.9(478)(043.2)

BOTNARU NICOLAI

**ELABORAREA UNUI SISTEM DE MONITORIZARE A STĂRII
SĂNĂTĂȚII SISTEMULUI CARDIORESPIRATOR**

165.01 – Fiziologia omului și animalelor

Teză de doctor în științe biologice

Conducător științific

Furdui Teodor, academician, profesor
universitar, specialitatea
165.01–Fiziologia omului și animalelor

Autor

Botnaru Nicolai

CHIȘINĂU, 2022

© BOTNARU NICOLAI, 2022

CUPRINS

ADNOTARE.....	5
LISTA TABELELOR.....	8
LISTA FIGURILOR.....	9
LISTA ABREVIERILOR.....	11
INTRODUCERE.....	12
1. STAREA CONTEMPORANĂ A STUDIILOR SERVICIILOR DE SUPRAVEGHERE LA DISTANȚĂ A FUNCȚIILOR UNOR SISTEME FIZIOLOGICE ȘI A STĂRII SĂNĂTĂȚII SOMATO-VEGETATIVE.....	19
1.1. Rolul telemedicinii în asigurarea supravegherii stării funcționale a unor sisteme vitale ale organismului și sănătății somato-vegetative. Morbiditatea și mortalitatea precoce înaltă ca factori determinatori ai necesității dezvoltării telemedicinii.....	19
1.2. Sanocreatologia și nosologia – necesitățile lor în dezvoltarea telemonitorizării.....	28
1.3. Sisteme de telemonitorizare, servicii de telemedicină.....	33
1.4. Concluzii la capitolul I.....	45
2. IDENTIFICAREA INDICATORILOR FUNCȚIONALI DE MONITORIZARE LA DISTANȚĂ, TEHNICI ȘI METODE DE PRELEVARE, ACHIZIȚIONARE ȘI ANALIZĂ A VALORILOR PARAMETRIILOR FIZIOLOGICI ELECTRICI, DE CONVERSIUNE A SEMNALELOR FIZIOLOGICE DE ORIGINE NEELECTRICĂ, DE VIZUALIZARE ȘI TRANSMITERE LA DISTANȚĂ.....	47
2.1. Indicii funcționali ai sistemelor fiziologice vitale cardiovascular și respirator (FCC) – frecvența contracțiilor cardiace, (FR) – frecvența a respirației, (SpO ₂) – saturația oxigenului din sânge, (TA) – tensiunea arterială, (TC) – temperatura corpului, ca indicatori de monitorizare la distanță în scopul obținerii informației preventive despre starea funcțională a acestor sisteme și a sănătății relative somato-vegetative.....	47
2.2. Conceptul proiectării prototipului de telemonitorizare.....	50
2.3. Prelevarea și analiza activității electrice cardiace cu ajutorul circuitului de bioinstrumentație.....	52
2.4. Metoda de prelevare și analiză a mișcărilor respiratorii cu ajutorul transimpedanței	55
2.5. Pulsoximetria – metoda optică de determinare a saturației cu oxigen a hemoglobinei din sânge.....	57
2.6. Determinarea temperaturii corpului cu ajutorul termometriei.....	59
2.7. Determinarea tensiunii arteriale.....	61
2.8. Concluzii la capitolul II.....	64

3. ELABORAREA UNUI SISTEM DE MONITORIZARE A ACTIVITĂȚII FUNCȚIONALE A SISTEMELOR CARDIOVASCULAR, RESPIRATOR, A TEMPERATURII CORPULUI ȘI A STĂRII RELATIVE A SĂNĂTĂȚII SOMATO-VEGETATIVE.....	66
3.1. Structura componentelor ingineresti constitutive ale prototipului.....	66
3.2. Adaptarea subsistemului de achiziție a activității cardiace și respiratorii.....	73
3.3. Integrarea senzorului de pulsoximetrie MAX30100.....	88
3.4. Integrarea senzorului de temperatură MAX30205.....	93
3.5. Determinarea tensiunii arteriale cu ajutorul metodei Pulse Transit Time.....	97
3.6. Concluzii la capitolul III.....	103
4. ELABORAREA ȘI IMPLEMENTAREA ALGORITMULUI DE COMUNICARE WIRELESS, INTERFEȚEI GRAFICE ȘI TESTAREA CAPACITĂȚILOR FUNCȚIONALE ÎN ANSAMBLU A PROTOTIPULUI DE MONITORIZARE ÎN CONTINUU LA DISTANȚĂ.....	105
4.1. Sisteme de comunicare wireless și platforma IoT.....	105
4.2. Evaluarea valorilor parametrilor fiziologici ce reflectă preventiv starea sanogenă și disanogenă a sistemului cardiorespirator cu ajutorul prototipului.....	115
4.3. Concluzii la capitolul IV.....	125
5. CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	126
6. BIBLIOGRAFIE.....	128
ANEXE.....	152
1. Act de implementare nr.1.....	152
2. Act de implementare nr.2.....	153
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII.....	154
CV-ul AUTORULUI.....	155

ADNOTARE

Botnaru Nicolai: „Elaborarea unui sistem de monitorizare a stării sănătății sistemului cardiorespirator”, teza de doctor în științe biologice, 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 физиологических 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 мониторинга на расстоянии.

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.

LISTA TABELELOR

1. Tabelul 3.1. Frecvența ciclului cardiac determinată pe două dispozitive, prototip și MAC2000.....	77
2. Tabelul 3.2. Compararea rezultatelor obținute cu ajutorul spirometriei și transimpedanței toracice.....	85
3. Tabelul 3.3. Modificările sincronice ale frecvenței ciclului cardiac și a frecvenței respirației.....	86
4. Tabelul 3.4. Datele comparative a saturației oxigenului din sânge preluate pe trei tipuri de dispozitive.....	91
5. Tabelul 3.5. Temperatura corpului prelevată cu ajutorul prototipului și a termometrului digital și infraroșu.....	97
6. Tabelul 3.6. Clasificarea HTA în dependență de valorile tensiunii arteriale.....	98
7. Tabelul 3.7. Valoarea medie comparativă a tensiunii arteriale, măsurată cu ajutorul prototipului și al tonometrului.....	100

LISTA FIGURILOR

1.	Figura 2.1. Determinarea PTT cu ajutorul ECG și PPG.....	62
2.	Figura 3.1. Arhitectura complexului de monitorizare a sistemelor cardiovascular și respirator.....	67
3.	Figura 3.2. Aspectul general al plăcii de dezvoltare TTGO TM.....	67
4.	Figura 3.3. Realizarea schemei electrice.....	69
5.	Figura 3.4. Proiectarea cablajului imprimat în EasyEDA.....	70
6.	Figura 3.5. Aspectul general al circuitului imprimat.....	70
7.	Figura 3.6. Partea de bioinstrumentație asamblată.....	71
8.	Figura 3.7. Aspectul fizic finalizat al prototipului.....	72
9.	Figura 3.8. Schema electrică de conectare a electrozilor și modul de amplasare a lor...	74
10.	Figura 3.9. Validarea datelor ECG.....	78
11.	Figura 3.10. Variabilitatea frecvenței ciclului cardiac.....	80
12.	Figura 3.11. Valorile medii a frecvenței ciclului cardiac.....	80
13.	Figura 3.12. Corelația dintre frecvența ciclului cardiac determinată cu prototip și MAC2000.....	81
14.	Figura 3.13. Pneumograma prelevată prin măsurarea impedanței toracice.....	82
15.	Figura 3.14. Compararea graficului variația fluxului de aer cu transimpedanța toracică.....	84
16.	Figura 3.15. Dependența dintre frecvența respirației, determinată cu ajutorul celor două dispozitive.....	85
17.	Figura 3.16. Modificarea frecvenței cardiace în dependență de frecvența respirației.....	87
18.	Figura 3.17. Conexiunea cu modulul MAX30100.....	89
19.	Figura 3.18. Unda fotopletismografică captată cu MAX30100.....	90
20.	Figura 3.19. Compararea valorilor SpO ₂ pe trei dispozitive diferite.....	91
21.	Figura 3.20. Diagrama Bland-Altman pentru valorile SpO ₂	92
22.	Figura 3.21. Corelația dintre valoarea SpO ₂ măsurată cu ajutorul prototipului și al dispozitivelor medicale.....	92
23.	Figura 3.22. Schema de conectare a modulului MAX30205.....	95
24.	Figura 3.23. Preluarea temperaturii corpului cu ajutorul prototipului și al camerei termale.....	96
25.	Figura 3.24. Graficul regresiei liniare al dependenței TA de PTT.....	99

26.	Figura 3.25. Diagrama Bland-Altman pentru tensiunea arterială, determinată prin metoda PTT.....	101
27.	Figura 3.26. Diagrama de corelare între metoda PTT și cea oscilometrică.....	102
28.	Figura 4.1. Arhitectura sistemului de comunicare la distanță a sistemului elaborat.....	108
29.	Figura 4.2. Meniul grupului de senzori de pe platforma IoT.....	110
30.	Figura 4.3. Meniul de editare a modulelor.....	111
31.	Figura 4.4. Meniul de configurare a graficului pentru fiecare modul în parte.....	111
32.	Figura 4.5. Meniul de configurare a alertei.....	112
33.	Figura 4.6. Graficul evoluției frecvenței ciclului cardiac în dinamică.....	112
34.	Figura 4.7. Setarea geo-locăției manual în platforma IoT.....	113
35.	Figura 4.8. Sistemul de geo-locăție integrat în platforma IoT.....	113
36.	Figura 4.9. Graficul evoluției în timp a parametrilor vitali.....	114
37.	Figura 4.10. Setarea alertei și a valorilor de prag pentru FCC.....	115
38.	Figura 4.11. Setarea alertei pentru frecvența respirației.....	116
39.	Figura 4.12. Setarea alertei pentru saturația cu oxigen.....	116
40.	Figura 4.13. Setarea alertei pentru temperatura corpului.....	116
41.	Figura 4.14. Setarea alertei pentru tensiunea arterială sistolică.....	117
42.	Figura 4.15. Setarea alertei pentru tensiunea arterială diastolică.....	117
43.	Figura 4.16. Coordonatele prototipului afișate pe hartă.....	118
44.	Figura 4.17. Evoluția în dinamică a FCC.....	118
45.	Figura 4.18. Frecvența respirației, evoluția în dinamică.....	119
46.	Figura 4.19. Evoluția în dinamică a temperaturii corpului.....	119
47.	Figura 4.20. Saturația oxigenului din sânge, evoluția în dinamică.....	120
48.	Figura 4.21. Evoluția în dinamică a tensiunii arteriale sistolice.....	120
49.	Figura 4.22. Dinamica schimbărilor tensiunii arteriale diastolice.....	121
50.	Figura 4.23. Dinamica schimbărilor FCC în efort fizic.....	121
51.	Figura 4.24. Mesajul de alertă pentru depășirea diapazonului sanogen al FCC.....	122
52.	Figura 4.25. Frecvența respirației, evoluția în dinamică la efort fizic.....	122
53.	Figura 4.26. Evoluția TA în dependență de sarcina fizică.....	123
54.	Figura 4.27. Alertele detectării valorilor critice pentru TA sistolică și diastolică.....	123

LISTA ABREVIERILOR

API key	–	Application Programming Interface (interfața de programare a aplicației)
BCV	–	Boli cardiovasculare
BNS	–	Biroul Național de Statistică
BPM	–	Bătăi pe minut
BPOC	–	Bronhopneumopatie obstructivă cronică
CAD	–	Computer-Aided Design – proiectare asistată pe calculator
DALY	–	Disability-adjusted lifeyear – Anii de viață ajustați cu incapacitate
ECG	–	Electrocardiograma
e-Health	–	e-Sănătate – toate formele de asistență medicală electronice, transmise prin intermediul internetului
FCC/HR (eng.)	–	Frecvența contracțiilor cardiace
FR/RR (eng.)	–	Frecvența respirației
HTA	–	Hipertensiunea arterială
MAST	–	Model pentru evaluarea aplicației sistemelor telemedicinei
m-Health	–	Mobile health – Sănătatea mobilă
OMS	–	Organizația Mondială a Sănătății
ONU	–	Organizația Națiunilor Unite
PA	–	Presiunea arterială
PDA	–	Personal Digital Assistant – Asistent digital personal
PPG	–	Fotopletismograma
PTT	–	Pulse Transit Time – timpul de propagare al pulsului
SEPHAR	–	Study for the Evaluation of Prevalence of Hypertension and Cardiovascular Risk in Adult Population in Romania – Studiu de evaluare a prevalenței hipertensiunii arteriale și a riscului cardiovascular la populația adultă din România
SoC	–	System-on-a-chip
SpO ₂	–	Saturația oxigenului din sânge
SUA	–	Statele Unite ale Americii
TA/BP (eng.)	–	Tensiunea arterială
TB	–	Tuberculoză
TC/BT (eng.)	–	Temperatura corpului
TIC	–	Tehnologii Informaționale și Comunicații
UE	–	Uniunea Europeană
UIT	–	Uniunea Internațională a Telecomunicațiilor
VOT	–	Tratamentul Video Observat
SPI	–	Serial Peripheral Interface - Interfața serială periferică SPI
I2C	–	Inter-Integrated Circuit
HTTP	–	Hypertext Transfer Protocol (protocol de transfer hipertext)

INTRODUCERE

Actualitatea lucrării. Conform datelor științifice ale fondatorilor sanocreatologiei [26, 27, 263, 267], una din cauzele morbidității înalte a societății contemporane constă în lipsa posibilităților de monitorizare operativă, continuă 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, dereglările fiziologice obțin caracter morbid.

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 [5].

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

Printre sistemele vitale ale organismului, un rol semnificativ în menținerea vitalității și sănătății somato-vegetative îi aparține sistemelor cardiovascular și respirator, prin aceasta se explică faptul că aceste sisteme sunt în permanență în vizorul fiecărui medic. De aceea, nu întâmplător, atât medicina, fiziologia și sanocreatologia, cât și bioingineria permanent sunt în căutarea posibilității monitorizării și creării modalităților de estimare a funcțiilor acestor sisteme de la distanță și în dinamică.

Studiile interdisciplinare în fiziologie și bioinginerie, privind identificarea unor parametri fiziologici ca indicatori ai activității funcționale a sistemelor cardiovascular, respirator și a temperaturii corpului uman, sunt cele ce ar permite de a evidenția și caracteriza în dinamică și la distanță modificările funcționale ale acestor sisteme, dar și rolul lor în menținerea relativă a sănătății somato-vegetative ale organismului [63, 64]. Sistemele de monitorizare on-line prelevează semnalele biomedicale sau parametrii fiziologici, stochează și transmit la distanță în timp scurt date care sunt analizate automat, iar în cazul în care valorile parametrilor monitorizați sunt în afara limitelor sanogene, pot transmite alarme [41, 63].

Compania GBI Research a publicat o analiză prin care se afirmă necesitatea implementării monitorizării la distanță a pacienților și a dezvoltării unei piețe globale pentru echipamente destinate monitorizării la distanță a sănătății [256]. 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 [7]. Totodată, cercetările au evidențiat oportunitatea automatizării procesului de analiză a rezultatelor monitorizării indicilor corespunzători. De-a lungul timpului au apărut o mulțime de echipamente medicale pentru a măsura tensiunea arterială, pulsul, concentrația de O₂ în sânge, precum și alte valori fiziologice, dar care nu țineau cont de așa caracteristici ca mobilitatea pacientului și modificarea funcțiilor specifice, în dependență de factorii mediului ambiant, posibilitatea de transmitere la distanță a datelor, costul monitoarelor etc.

Pe parcursul ultimilor ani în Republica Moldova se constată o creștere importantă a utilizării Tehnologiilor Informaționale și de Comunicații (TIC) în sistemul de sănătate [39, 40]. Prin Comunicatul COM(2008)689 din 4.11.2008 „Telemedicina pentru beneficiile pacientului, sistemului de sănătate și societății”, Comisia Europeană accentuează importanța telemedicinii [14]. În cadrul acțiunilor prevăzute în Strategia Europa 2020 (Europe's Digital Agenda) s-au implementat pe scară largă, servicii de telemedicină” [1, 57, 126].

În 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 fost acceptată Strategia Națională de *e-Sănătate* 2020, utilizarea tehnologiilor, informației și comunicațiilor pentru sănătate, de exemplu, tratarea pacienților, cercetarea continuă, supravegherea bolilor și monitorizarea sănătății [32, 56].

Totodată, implementarea cu succes a serviciilor de telemedicină va asigura posibilitatea extinderii accesului cost-eficient la servicii medicale, în localitățile rurale sau izolate, ceea ce reprezintă un argument important pentru implementarea telemedicinii în Republica Moldova cu pondere sporită în localitățile rurale [39].

Anume folosirea serviciilor de telemedicină au avantaje în timpul pandemiei de COVID-19, care permite monitorizarea la distanță a pacienților, ceea ce înseamnă că riscul de transmitere a noului coronavirus de la pacient la medic sau invers devine imposibil [70].

Conform statisticilor OMS, la nivel global, s-au înregistrat anual aproximativ 40 de milioane de decese din cauza maladiilor cronice netransmisibile. „Dintre acestea, aproape 30 de milioane de decese au fost în țările cu un nivel de dezvoltare economic mediu sau slab. Bolile cardiovasculare se plasează pe primul loc la capitolul mortalitate provocată de maladii cronice netransmisibile, cu 17,5 milioane de decese anual, iar bolile respiratorii – 4 milioane de decese” [72].

Dat faptului că bolile cronice ale sistemelor cardiovascular și respirator sunt cele mai frecvent întâlnite atât în lume, cât și în Republica Moldova, resursele asigurărilor medicale alocate pentru acest tip de persoane capătă proporții considerabile. Persoanele cu așa tip de patologii sunt supuse unor riscuri destul de mari, care impun anumite limitări în sfera socială și economică [33, 234].

Morbiditatea și mortalitatea înaltă și pronosticul alarmant al maladiilor cronice a determinat o dezvoltare accelerată în domeniul sistemelor informaționale și biomedicale. În prezent există o cerere crescândă pe piață pentru echipamente destinate monitorizării unor parametri vitali, cauzată nu numai de incidența sporită a maladiilor sistemului cardiovascular și respirator, dar și de pronosticul cu caracter alarmant, ceea ce a determinat Organizația Mondială a Sănătății de a lansa la nivel mondial un program privind prevenirea și tratamentul corect al acestor maladii, prin elaborarea unor strategii menite să diminueze incidența lor [126]. S-a demonstrat că monitorizarea de la distanță este o cale de soluționare eficientă pe care o realizează telemedicina [219].

O strategie eficientă de monitorizare a dinamicii funcțiilor organelor vitale și a stării sănătății somato-vegetative poate reprezenta telemonitorizarea. Parametrii informativi care au fost folosiți pentru monitorizarea preventivă a stării organismului și care sunt obligatorii de a fi monitorizați prezintă: măsurarea frecvenței contracțiilor cardiace, frecvenței respirației, a tensiunii arteriale, temperaturii corpului și a saturației sângelui cu oxigen [241].

Beneficiul sistemelor de telemonitorizare la distanță se manifestă nu numai prin obținerea oportună a informației despre activitatea funcțională a sistemelor fiziologice vitale, despre starea preventivă a sănătății somato-vegetative pentru asigurarea activității efective a organismului în dinamică și a activității vieții, dar și prin reducerea costului la investigații clinice, de laborator și tratamentul pacienților [6].

Raportul de cercetare, care a fost prezentat de către compania Berg Insight relevă că rata anuală de creștere cumulată a veniturilor provenite din monitorizarea la distanță a pacienților până în anul 2023 este de așteptat să fie de 21,4%, ajungând la 46,1 miliarde de euro până la sfârșitul perioadei de prognoză [192]. 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 anul 2027, iar interesul față de telemedicină va crește cu peste 500% [65, 135, 136].

Unii autori [105, 157] 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 [242].

Indiscutabil, că folosirea eficientă și corespunzătoare a serviciilor de telemedicină prezintă o resursă esențială pentru sistemele de sănătate ce se vor schimba după criza produsă de pandemia COVID-19. Actualmente, multe clinici folosesc deja telemedicina, considerând că aceasta este medicina viitorului. Pandemia încă odată a atestat opțiunea telemedicinii ca cale principală de dezvoltare a medicinei contemporane [7, 70].

Eficiența monitorizării la distanță a unor parametri vitali s-a demonstrat, în special, la

pacienții cu tuberculoză. Organizația Mondială a Sănătății a recomandat "Tratamentul Video Observat" (VOT) care prezintă una din metodele digitale de tratament a persoanelor cu tuberculoză [38]. Un studiu efectuat de către Deloitte 2019 Global Healthcare Outlook relevă că tehnologiile noi, cererea în creștere a sistemelor bioingineresti pentru servicii medicale de calitate și influența reglementărilor sunt principalele tendințe pe piața globală tradițională a sănătății în următorii ani [4]. Viitorul pe termen scurt și mediu este cu siguranță al serviciilor de telemedicină care va schimba pentru totdeauna modul în care este practică medicina.

Așadar, 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 considerare rolul lor în asigurarea activității organismului și menținerii sănătății somato-vegetative, pe deplin se înscrie în strategia contemporană a dezvoltării medicinei ce alcătuiește domeniul de studiu al tezei de doctor.

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 - relative a stării sănătății somato-viscerale a organismului.

Pentru realizarea acestui scop au fost determinate următoarele **obiective**:

1. Analiza practicii utilizării tehnologiilor de monitorizare la distanță a unor funcții ai 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 modului 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 crearea 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.

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.

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 „Învățămant superior: tradiții, valori, perspective” Științe Exacte și ale Naturii și Didactica Științelor Exacte și ale Naturii, Chișinău, 29-30 septembrie 2020, Vol. 1.

Publicații la tema cercetărilor. În baza materialului științific din teză au fost publicate 6 lucrări științifice

Volumul și structura tezei. Teza constituie 127 de pagini de text de bază și constă din adnotare, introducere, reviu literaturii, materiale și metode de cercetare, rezultatele investigațiilor, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 273 de surse. Materialul ilustrativ include 53 de figuri, 7 tabele și 2 anexe, volumul total al lucrării constituie 157 de pagini.

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

Capitolul 1. Starea contemporană a studiilor serviciilor de supraveghere la distanță a funcțiilor unor sisteme fiziologice și a stării sănătății somato-vegetative. Acest capitol este consacrat: analizei rolului telemedicinei în asigurarea supravegherii stării funcționale și a sănătății somato-vegetative; categoriilor de servicii principale – stocarea, transmiterea, monitorizarea la distanță, sisteme existente de telemonitorizare cu diferite complexități, ce se bazează pe tehnologii TIC, inclusiv Wi-Fi și Bluetooth, ce facilitează transmiterea informației fără fir. La finele capitolului sunt formulate prioritățile și necesitățile dezvoltării sistemelor de telemonitorizare la distanță a funcțiilor sistemelor fiziologice vitale și a stării sănătății.

Capitolul 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. Capitolul 2 include identificarea și argumentarea indicilor funcționali ai sistemelor fiziologice vitale cardiovascular și respirator (FCC, FR, SpO₂, TA, TC) ca indicatori de monitorizare la distanță în scopul obținerii informației preventive despre starea funcțională a acestor sisteme și a sănătății relative somato-vegetative și descrierea concisă a conceptului proiectării prototipului de telemonitorizare. Capitolul cuprinde în sine și fundamentarea concepțiilor de prelevare și analiză a activității electrice cardiace cu ajutorul circuitului de bioinstrumentație, de prelevare și analiză a mișcărilor respiratorii cu ajutorul transimpedanței, în baza modulului ADS1292R, de determinare a saturației hemoglobinei cu oxigen prin metoda optică în baza cipului MAX 30100, de estimare a temperaturii corpului cu ajutorul termometriei, utilizând modulul de temperatură MAX30205, de apreciere a tensiunii arteriale în baza modulului ECG, ADS1292R și a modulului MAX30100.

Pentru stabilirea veridicității și autenticității datelor experimentale obținute, a fost aplicat programul standard de analiză statistică Excel-2019.

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. Acest capitol descrie destul de desfășurat structura componentelor ingineresti

constitutive ale prototipului elaborat, ce asigură culegerea, preluarea, extragerea informației din semnalele biomedicale, transmiterea la distanță prin utilizarea dispozitivelor electronice, traductori și sisteme înglobate, cu un consum redus de energie și dimensiuni mici. Procesul de adaptare a sistemului de achiziție a semnalelor funcționale ale sistemului cardiorespirator s-a realizat în baza circuitelor integrate, modulelor specializate, biosenzorilor destinate pentru achiziționare, pe un sistem cu arhitectura SoC cu mai multe circuite electronice, integrate pe un singur cristal, tehnologia Wi-Fi și Bluetooth, pe un microcontroler din familia ESP32, iar, în rezultat, prototipul elaborat redă adecvat starea funcțională a sistemului fiziologic corespunzător. Metodele de determinare, de prelevare, de analiză, de transmitere la distanță a saturației sângelui cu oxigen, valoarea temperaturii corpului uman și tensiunii arteriale constituie unele din avantajele prototipului elaborat de monitorizare.

Capitolul 4. Elaborarea și implementarea algoritmului de comunicare wireless și testarea capacităților funcționale în ansamblu a prototipului de monitorizare în continuu la distanță. Capitolul 4 este consacrat sistemii Wireless pentru monitorizarea continuă a parametrilor fiziologici, platformei IoT, ce asigură monitorizarea continuă cu ajutorul biosenzorilor și evaluarea valorilor parametrilor fiziologici, ce reflectă preventiv starea sanogenă și disanogenă a sistemului cardiovascular. Elaborarea și implementarea algoritmului de comunicare Wireless este bazată pe canale specializate de comunicare, interconectate cu chei speciale API, pe platforma IoT și pe infrastructuri de internet drept domeniu de propagare a informației, a transducerii adecvate și în timp real a parametrilor fiziologici. Teza se încheie cu concluzii generale și recomandări, bibliografie (273 de surse) și anexe (2 acte de implementare a rezultatelor științifice)

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

1.1. Rolul telemedicinei în asigurarea supravegherii stării funcționale a unor sisteme vitale ale organismului și sănătății somato-vegetative. Morbiditatea și mortalitatea precoce înaltă ca factori determinatori ai necesității dezvoltării telemedicinei

Ingineria medicală este un domeniu de cercetare și dezvoltare în continuu și are un impact în societatea contemporană. Asume „ingineria biomedicală este acea ramură a bioingineriei ce se referă la toate procedurile terapeutice și investigațiile care se fac cu sprijin tehnic, dar și la producerea aparaturii și asistenței acestora în timpul utilizării. Aceasta cuprinde toate aplicațiile diferitelor ramuri ale ingineriei care pot fi folosite la rezolvarea problemelor pe care le întâmpină medicina: fiecare „intersecție” a unui domeniu ingineresc cu o latură a medicinei (cardiologie, neurologie, imagistică etc.) constituie o potențială arie de dezvoltare a unor aplicații” [46].

Este cunoscut că telemedicina este un sistem inovativ de monitorizare la distanță a pacienților, care oferă metode de diagnosticare și tratament, în timp real, fără necesitatea de deplasare a pacientului. Monitorizarea la distanță constă în prelevarea unor indici vitali sau a semnalelor biomedicale pe un anumit timp ore, zile care ulterior la finele monitorizării pot fi descărcate și analizate(off-line) [41, 63, 64, 71]. La fel unii autori confirmă perspectiva accesului și utilizării eficiente de către pacienți cu pacemaker (implant) la tehnologiile de monitorizare la distanță [253, 254].

Utilitatea biomonitorizării rezultă din faptul că identificând o perturbare funcțională chiar în momentul apariției sale, dă posibilitatea corecției terapeutice imediate. Monitorizarea calitativă și depistarea la timp a patologiilor sistemului cardiovascular și respirator poate preveni problemele sociale eventuale [20, 63].

Unii autori confirmă că telemonitorizarea este un serviciu de telemedicină unde, valorile parametrilor vitali, sunt prelevate în mod automat, prin intermediul dispozitivelor personale de monitorizare a stării de sănătate (dispozitivele electronice care pot fi portabile sau implantabile). Ulterior datele prelevate sunt analizate și transmise unui medic pentru aplicarea corectă a tratamentului pacienților [184].

În medicina contemporană există o problemă de automatizare a procesului de monitorizare a indicilor stării fiziologice a organismului cosmonauților, astronautilor și a pacienților aflați la tratament în clinici sau ambulatoriu. Realizarea obiectivelor sanocreatologiei necesită supravegherea stării funcționale a sistemelor vitale ale organismului și sănătății somato-vegetative în continuu și la distanță, e posibilă numai grație dezvoltării posibilităților de

telemonitorizare. Monitorizarea la distanță va contribui la îmbunătățirea esențială a calității vieții și a serviciilor de asistență medicală a pacienților aflați în curs de tratament [251].

Conform datelor prezentate de Organizația Mondială a Sănătății (OMS), bolile cardiovasculare constituie cea mai frecventă cauză de mortalitate la nivel global. Prognoza făcută de către OMS a stabilit că în anul 2020 a crescut numărul total de decese din cauza maladiilor cronice netransmisibile cu 15%, marea majoritatea acestora fiind determinată de afectarea organelor cu funcții vital importante: inimă și creier. OMS estimează că, până în anul 2030, acest bilanț al victimelor va crește la aproximativ 24 de milioane [234].

Maladiile cardiovasculare pe drept sunt numite epidemia secolului XX și XXI. În ultimii 20 de ani se clasifică printre principalele cauze ale deceselor la populația din țările economic dezvoltate [258]. La fel și insuficiența cardiacă este o patologie larg răspândită în societatea occidentală, afectând 1,5% din populație, cu impact major pentru spitalizare, reinternări, număr sporit de decese și costuri mari pentru tratament [132]. Studiul efectuat de către unii autori apreciază că din totalul de 55 de milioane de decese înscrise anual pe întreg globul, aproximativ 30%, sunt decese din cauza afecțiunilor sistemului cardiovascular [243].

În Republica Moldova, în anul 2015, mortalitatea cardiovasculară înaltă depășea nivelul mediu global aproape de două ori, s-au înregistrat 648,2 la 100,000 de oameni [43]. S-a demonstrat că pentru Republica Moldova, BCV prezintă o problemă majoră atât medicală, cât și social-economică. Acestea ocupă constant primul loc printre cauzele de deces a populației apte de muncă și reprezintă circa 58% din totalul deceselor înregistrate la nivel național [237]. Datele furnizate Biroului Național de Statistică (BNS) de către Ministerul Sănătății, referitor la cota mortalității în Republica Moldova, s-a raportat că în anul 2018 au murit 37 de mii de persoane cu peste un procent mai mult în comparație cu anul precedent (2017) Majoritatea deceselor (58,1%) au fost cauzate de bolile aparatului circulator, iar numărul deceselor provocate de bolile aparatului circulator a fost mai mare (61,6%) în nordul țării [37]. Pe parcursul anului 2019 au decedat 21,603 de persoane [11, 68]. Printre persoanele care au decedat din cauza maladiilor cardiovasculare 26% erau la o vârstă aptă de muncă [69].

Totodată, în rezultatul multiplelor cercetări efectuate, s-a stabilit că dereglările funcționale ale sistemului cardiovascular se întâlnesc la mai mult de 80% copii de vârstă școlară din Republica Moldova [12].

Este important de conștientizat că majoritatea bolilor cardiovasculare pot fi prevenite prin abordarea unor factori de risc comportamentali, utilizând strategii de prevenție la nivelul întregii populații [140]. Astfel, în scopul diminuării esențiale a morbidității și mortalității prin boli cardiovasculare, Guvernul Republicii Moldova a aprobat Programul național de prevenire și verificare periodică a afecțiunilor cardiovasculare pentru anii 2014 – 2020 [30].

Unii autori confirmă că bolile cardiovasculare prezintă o sarcină majoră de sănătate publică, fiind cauză esențială de deces la nivel mondial. În baza evaluărilor științifice se estimează că peste 75% din decese din cauza bolilor cardiovasculare au loc în țările slab dezvoltate din punct de vedere social-economic [182].

Totodată, s-a stabilit că în anul 2020, bolile cardiovasculare au fost principala cauză de handicap, devansând bolile infecțioase [125]. La fel, bolile coronariene prezintă o cauză majoră de deces și dizabilitate în țările dezvoltate [198]. În prezent bolile cardiovasculare sunt recunoscute drept principala cauză de deces și dizabilitate la nivel mondial [210]. Deși mortalitatea pentru această afecțiune a prezentat variații în ultimele decenii în țările occidentale, totuși formează aproximativ o treime din totalul deceselor la persoanele cu vârste mai mari de 35 de ani în toată această perioadă de timp [156, 162, 201].

Sursele bibliografice denotă că din cauza bolilor cardiovasculare, mor anual circa 4 milioane de persoane în Europa, iar în Uniunea Europeană se atestă 1,9 milioane de decese în mare parte din cauza bolilor coronariene [181], reprezentând 47%, respectiv 40% din toate decesele din Europa și din Uniunea Europeană [137].

În România, bolile cronice netransmisibile la fel prezintă o problemă importantă de sănătate publică. În anul 2018 se aflau pe primul loc în Europa, cu o medie de 108,9 de decese la 100,000 de locuitori, față de 43,8 la 100,000 de locuitori din UE. Gravitatea și numărul acestor afecțiuni cronice netransmisibile constituie o serioasă provocare pentru medicina clinică și pentru cercetarea biomedicală. Mai mult decât atât, mortalitatea cauzată de bolile cardiovasculare este principala cauză a speranței de viață atât în România, cât și în țările Uniunii Europene (UE), atât la bărbați, cât și la femei. Durata vieții în România este cu circa zece ani mai mică decât în UE [45, 51].

Potrivit unui raport al Organizației Mondiale a Sănătății, pierderile de producție din cauza bolilor cardiovasculare se ridică, în România, la peste un miliard de euro anual. Pe lângă impactul pe care îl au asupra țărilor și populației ca factori de deces, bolile cardiovasculare constituie, totodată, o cauză majoră de handicap și afecțiuni cronice, reprezentând o povară considerabilă pentru sistemele medicale și economie. S-a stabilit, că în anul 2020, numărul total de decese cauzate de bolile cardiovasculare au fost estimate la aproximativ 25 milioane [50].

Pentru un pacient care suferă de maladii cardiovasculare în Germania se alocă 370 de euro, în Europa, în medie, 212 euro, în România această sumă constituie doar 27 de euro, iar în Moldova și mai puțin [69].

În Ucraina, în structura generală a mortalității, ponderea mortalității cauzată de maladiile cardiovasculare, este cu 30% mai sporită decât în Europa și constituie 68%. Pentru comparație, în SUA constituie aproximativ 47,7% [262].

În Rusia, anual, din cauza maladiilor cardiovasculare, s-au înregistrat decese a circa 1,2 milioane de persoane, ce constituie 55,5% din totalul deceselor. Indicele mortalității cauzate de maladiile sistemului cardiovascular în Rusia la începutul secolului XXI era destul de înalt, întrecând nivelul țărilor dezvoltate de 5-6 ori [247, 259].

Unii autori confirmă că în Federația Rusă maladiile cardiovasculare sunt în creștere. Din numărul total al deceselor și al persoanelor cu grad de dizabilitate, 50% le revine maladiilor sistemului cardiovascular. Totodată, s-a stabilit că mortalitatea cauzată de maladiile sistemului circulator în țările cu economie slab dezvoltată este mai sporită decât în țările cu o economie dezvoltată (749 de cazuri la 100,000 de locuitori), cota parte în structura mortalității din maladiile sistemului cardiovascular constituie la bărbați – 56,6%, iar la femei – 40,4% [271].

În Europa, bolile cardiovasculare provoacă aproximativ o jumătate din totalul deceselor. Peste 4,35 milioane de oameni mor, anual, în cele 53 de state membre ale OMS, în regiunea Europeană, și peste 1,9 milioane de decese în fiecare an în Uniunea Europeană. Bolile cardiovasculare constituie cauza a 42% dintre decesele înregistrate la bărbați din rândul populației și, respectiv, 55% la femei din Uniunea Europeană [49]. În SUA cca 13 milioane de oameni suferă de boală coronariană și, anual, sunt înregistrate circa 480,000 de decese [199, 200, 222].

Potrivit apelului OMS și al liderilor Alianței Globale 2013, decesele premature provocate de bolile cronice necontagioase ar putea fi diminuate cu 25% până în anul 2025. Atingerea acestei scop însemnând, în primul rând, scăderea mortalității cardiovasculare premature prin corecția factorilor de risc comportamentali, reducerea hipertensiunii arteriale, a diabetului zaharat, a obezității, concomitent cu acoperirea tratamentului cu medicamente vitale și punerea în practică a tehnologiilor contemporane și a serviciilor de telemedicină [126].

Este demonstrat că tensiunea arterială ridicată este un factor de risc major în apariția bolilor cardiovasculare, care este determinat, în mare măsură, de expunerea la factorii de risc comportamentali (consumul de tutun, regimul alimentar nesănătos, activitate fizică insuficientă și consumul nociv de alcool) și biologici (obezitate, nivelul colesterolului și glucozei în sânge), însoțiți de acțiunea factorilor genetici, vârsta, stresul psihologic și determinantele social-economice [133, 214, 234, 235, 236, 237].

În rezultatul cercetărilor a valorilor tensiunii arteriale, măsurate în cabinet s-a stabilit prevalența globală a hipertensiunii arteriale la 1,13 miliarde persoane în 2015 [180], cu o prevalență de peste 150 de milioane în Europa Centrală și de Est. În ansamblu, prevalența hipertensiunii arteriale la adulți constituie aproximativ 30 – 45% [109].

În 2015, prevalența globală standardizată pe toate vârstele a fost 24% pentru bărbați și respectiv 20% pentru femei [180]. Prevalența ridicată a hipertensiunii arteriale este constantă în

întreaga lume, indiferent de statutul economic, atât în țările cu venituri mici și medii, cât și în țările cu venituri mai mari [109]. Totodată, s-a stabilit că hipertensiunea arterială crescută a fost principala cauză care a contribuit la declanșarea a 10 milioane de decese premature în 2015 la nivel global [129].

Hipertensiunea arterială reprezintă o importantă cauză de morbiditate și mortalitate. Circa 15–37% din populația adultă de pe glob are hipertensiune. Este o patologie frecventă, în Europa. Actualmente, una dintre patru persoane devine hipertensivă, iar prevalența hipertensiunii la oamenii cu vârsta de peste 60 de ani constituie peste 50% [172, 186].

S-a stabilit că o problemă majoră prezintă hipertensiunea arterială (HTA). Aproximativ un miliard de oameni au, în prezent, hipertensiune, iar acest număr se așteaptă să crească cu mai mult de 50% până în anul 2025 [44, 169, 199, 200].

Datele oferite de Organizația Mondială a Sănătății relevă că răspândirea hipertensiunii printre persoanele cu vârstă mai mare de 65 ani constituie 70% [199, 200]. Conform prognozei, numărul bolnavilor vârstnici din lume ce suferă de hipertensiune în anul 2025 va atinge 1,5 de miliarde [149].

Verificarea HTA este departe de a fi satisfăcător. În Europa hipertensiunea arterială este principala cauză a maladiilor cardiovasculare și a deceselor. Din această cauză, precum și în urma cercetărilor științifice noi acumulate, Societatea Europeană de Cardiologie împreună cu Societatea Europeană de Hipertensiune au elaborat și publicat la sfârșitul lunii august a. 2018 ghidul actualizat ESC/ESH:(Guidelines for the management of arterial hypertension) [232]. S-a evaluat că în Europa, o mare parte dintre pacienții aflați în prevenția primară au factori de risc pentru bolile cardiovasculare, care rămân necontrolate. Dintre persoanele hipertensive tratate (94,2%), doar 38,8% au reușit să reducă tensiunea arterială sub valoarea 140/90mmHg [96]. Totodată s-a stabilit că bolile în raport cu tensiunea arterială mărită au un impact esențial asupra cheltuielilor de sănătate [131]. S-a evaluat că 10% din cheltuielile pentru sănătate sunt în raport direct cu tensiunea arterială înaltă și complicațiile cauzate de aceasta.

„La nivel global se estimează că în cadrul populației, printre bolnavii hipertensivi, doar 57% își cunosc problema de sănătate, aproximativ 40% primesc medicație anti-hipertensivă și doar 13,2% au tensiunea arterială controlată. Dacă se va reuși tratarea a jumătate dintre persoanele cu tensiune arterială necontrolată (inclusiv pe cei tratați incorect și netratați), în 10 ani în întreaga lume ar putea fi evitate 10 milioane de decese, din cauza evenimentelor cardiovasculare” [21].

Sursele bibliografice confirmă că hipertensiunea arterială reprezintă, la ora actuală, o problemă majoră de sănătate publică la nivel mondial. Este principalul factor de risc controlabil al bolilor cardio– și cerebro–vasculare și, cu toate acestea, chiar și în țările cu statut economic

ridicat și cu politici de sănătate solid implementate, un procent însemnat de pacienți hipertensivi nu sunt tratați [54].

S-a stabilit că 46% din populația adultă a SUA suferă de hipertensiune arterială, comparativ cu 32% anterior evaluată, acest fapt traducându-se, practic, prin încadrarea unei populații considerate anterior sănătoase ca fiind afectată de boală [158].

În Republica Moldova, 40% dintre moldoveni suferă de hipertensiune arterială care este provocată de alimentație incorectă, stres, fumat, consumul excesiv de alcool și de lipsa de mișcare. Patologia poate provoca la anevrism, insuficiență cardiacă și reală, accidente vasculare cerebrale, orbire și infarct miocardic [37]. Rezultatele studiului efectuat în Republica Moldova de către autori demonstrează că prevalența hipertensiunii arteriale la persoanele cu vârstele cuprinse între 25 și 64 de ani constituie cca 30%, parametrii hipertensiunii arteriale fiind în realitate de 7,5 ori mai înalți decât indicii statisticii medicale oficiale [31, 55].

Conform unui studiu epidemiologic efectuat în Federația Rusă, s-a stabilit că de hipertensiune arterială suferă 39,6% femei și 47,3% bărbați [248, 260].

În România, conform studiului SEPHARI [120] efectuat în anul 2005 (primul studiu național privind epidemiologia hipertensiunii arteriale), prevalența hipertensiunii arteriale la nivel național a fost de 44,9%. Problema capătă proporții printre bolnavii nou diagnosticați cu hipertensiune – tineri sub 40 de ani. Totodată, s-a evidențiat că 39% dintre pacienții hipertensivi se tratau și, doar un procent foarte mic – 7,8%, erau ținuti sub control. În rezultatul cercetărilor, s-a stabilit o prevalare generală a hipertensiunii arteriale de 44,92%, mai mare la bărbați (50,17%) decât la femei (41,11%) și în mediul rural (49,47%), în raport cu cel urban (41,58%).

Datele, expuse de către autorii studiului SEPHAR II (2011), au avut ca scop de a evidenția prevalența factorilor de risc legate de bolile cardiovasculare la populația adultă din România, precum și a tendințelor de evoluție [121].

În rezultatul cercetărilor (SEPHARI și SEPHARII) s-a stabilit că timp de circa 7 ani (durata cercetărilor) a fost stabilită o scădere a prevalenței hipertensiunii arteriale, cu 10,7%, o creștere cu 57% a gradului de conștientizare și cu 52% a tratamentului hipertensiunii arteriale, ceea ce a dus aproape la dublarea ratei de verificare periodică a HTA la pacienți [122].

„Rezultatele cercetărilor relevă că profilul pacientului hipertensiv s-a schimbat, de la bărbat de vârstă medie, mai frecvent din mediul rural, către femeie de vârstă medie, mai frecvent din mediul urban, profil similar cu cel observat în țări ca: Polonia, Croația, Turcia și Spania” [87, 146, 161, 245].

Totodată, s-a stabilit că hipertensiunea arterială, factor de risc sporit pentru boala coronariană și accidente vasculare cerebrale, creează o presiune esențială asupra sistemului de sănătate. În România, potrivit celor mai recente evaluări ale OMS, indexul DALY a fost de 149,0

la ambele sexe, 69,1 la sexul masculin și 79,9 la sexul feminin. DALY (Disability Adjusted Life Years), este un indicator folosit de sistemul de sănătate, care însumează pierderea de viați prin decese premature și anii trăiți cu dizabilitate cauzată de prezența bolii [134].

S-au făcut progrese substanțiale în înțelegerea epidemiologiei, fiziopatologiei și a riscurilor asociate cu hipertensiunea arterială și există numeroase dovezi care demonstrează că scăderea tensiunii arteriale poate reduce substanțial morbiditatea și mortalitatea precoce [123, 244]. Totuși, în rezultat, hipertensiunea arterială se menține ca principala cauză a bolilor cardiovasculare care poate fi prevenită, însă rămâne a fi principala cauză de mortalitate generală la nivel global și european [96, 223].

Conform datelor OMS, în fiecare an, se înregistrează în lume aproximativ 15 milioane de cazuri noi de accidente vasculare cerebrale (AVC). Dintre acestea, 5 milioane mor, iar alte 5 milioane rămân cu diverse grade de dizabilitate. În Europa se înregistrează aproximativ 650,000 de accidente vasculare cerebrale în fiecare an [24].

„În România, accidentul vascular cerebral reprezintă a doua cauză de deces – 21,64% și dizabilitate – 11,34%. Se înregistrează anual 61,500 de accidente vasculare cerebrale, cele mai multe dintre ele, 55,000 fiind accidente ischemice, cu un cost anual pentru statul român de aproximativ 657 milioane euro. S-a evaluat, că costul pentru tratarea unui pacient constituie între 5,000 și 10,000 de euro. Cheltuielile directe și indirecte ajung să constituie aproximativ 0,4% din produsul intern brut” [48, 53].

La fel, și în Republica Moldova, accidentele vascular cerebrale sunt a doua cauza de deces după bolile cardiovasculare. Se estimează că accidentele vascular cerebrale vor deveni, până în anul 2030, principala cauză de mortalitate la nivel mondial, ajungând la aproximativ opt milioane de decese anual. Statisticile oficiale din Republica Moldova oglindeau că în anul 1995 la evidență se aflau 21 de mii de persoane din populație care suferiseră un accident vascular cerebral, apoi în anul 2018 au fost înregistrate 78 de mii cazuri [78].

„Totodată, AVC în Republica Moldova reprezintă o problemă majoră, cu implicații social-economice importante, pentru că pacienții care supraviețuiesc, deseori, rămân cu dizabilități motorii și cognitive severe, majoritatea neputând să-și reia activitatea pe care o desfășurau înaintea debutului bolii. În structura mortalității din Republica Moldova, bolile cerebro-vasculare ocupă locul II cu 168,2 cazuri la 100,000 de locuitori. Terapia recuperatorie este necesară în etapele inițiale pentru 70 – 80% dintre supraviețuitori, iar pe termen lung aproximativ 50% mențin necesitatea întreținerii sau îmbunătățirii abilităților lor” [62].

Morbiditatea și mortalitatea înaltă a populației din cauza maladiilor cardiovasculare, inclusiv a tensiunii arteriale, argumentează necesitatea de a organiza supraveghere continuă și la distanță a stării sănătății cordului și tensiunii arteriale, fapt posibil din contul organizării

telemonitorizării acestor funcții, ce ar permite întreprinderea acțiunilor operative de corecție a dereglărilor funcționale.

O problemă pentru societate sunt bolile sistemului respirator. Într-un raport al Societății Europene de boli respiratorii se menționează că bolile pulmonare reprezintă cauza unuia din zece decese înregistrate în Europa [25, 166]. Conform statisticilor OMS, rata îmbolnăvirilor cu afecțiuni pulmonare obstructive va crește în următoarele două decenii, ajungând a patra cauza de mortalitate din lume [67]. Cea mai des întâlnită morbiditate la bolnavii cu bronhopneumopatie obstructivă cronică este hipertensiunea arterială, (28%), urmată de diabetul zaharat (14%) și de cardiopatia ischemică (10%). Asocierea celor două afecțiuni impune o abordare interdisciplinară complexă (internist, pneumolog, cardiolog).

Bronhopneumopatia obstructivă cronică (BPOC) a fost clasată ca fiind a patra cauză de deces în lume în a. 2017 și a treia cauză de deces pe glob în anul 2020. BPOC prezintă una dintre cele mai frecvente afecțiuni pulmonare cu prevalența în continuu creștere, afectând circa 210 milioane de oameni din lume. La nivel european, această patologie afectează 2,5% din populația cu vârsta peste 30 de ani [229]. S-a evaluat că, până în anul 2030, bronhopneumopatia obstructivă cronică va prezenta una dintre pricinile cele mai frecvente de mortalitate, după infarctul miocardic și accidentul vascular cerebral [3].

Irlanda, Ungaria și Belgia (pentru sexul masculin) și Danemarca, Marea Britanie (pentru sexul feminin) au avut o mortalitate mai ridicată cauzată de BPOC, comparativ cu media în Europa [164]. Bronhopneumopatia obstructivă cronică a fost considerată multă vreme o afecțiune a adultului.

Datele expuse relatează o prevalență sporită și în rândul adulților tineri (20–44 ani), cu o rată accentuată de creștere în rândul femeilor [118, 217]. Unii autori precizează că bronhopneumopatia obstructivă în acest moment reprezintă a cincea cauză de mortalitate la nivel mondial și a treia cauză de mortalitate în anul 2020 [179].

Rata mortalității, cauzate de BPOC, reprezintă o problemă alarmantă, în condițiile în care, în cazul altor patologii cronice majore (de ex. afecțiuni cardiovasculare), rata mortalității a înregistrat un declin semnificativ în ultimii ani [185]. „România se află pe locul III în Europa ca rată a mortalității prin BPOC la bărbați, după Ungaria și Irlanda, cu 60 de decese la 100,000 de locuitori” [29].

În Republica Moldova, în urma analizei efectuate de către unii autori în perioada aa. 2013-2017, s-a stabilit că media mortalității cauzate de patologii ale aparatului respirator constituie 56,1% [33]. La copii la fel reprezintă o problemă bolile aparatului respirator. Unele cercetări efectuate denotă că funcția sistemului respirator prezintă o sensibilitate crescută la

acțiunea atât a factorilor sanogeni, cât și a factorilor patogeni. Activitatea fizică sistematică determină îmbunătățirea parametrilor fiziologici și atestă impactul ei, sanogen. [13].

Cercetările efectuate în Marea Britanie au stabilit că 112 decese la 100,000 de locuitori sunt provocate din cauza bolilor pulmonare. „, Situația nu este mai bună nici în Belgia (117 decese la 100,000 de locuitori), nici în Danemarca, Ungaria sau Irlanda lucrurile nu stau mai bine. La polul opus se situează Suedia, cu circa 55 de decese la 100,000 de locuitori” [25].

S-a demonstrat că pacienții cu patologie evolutivă cronică cum ar fi bolile sistemului cardiorespirator, reprezintă o problemă majoră atât pentru țările dezvoltate, cât și pentru țările în curs de dezvoltare [239].

Un studiu, efectuat de Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD), a stabilit că peste 27,000 de pacienți au decedat în Marea Britanie în anul 2004 din cauza bronhopneumopatiei obstructive cronice, iar costurile alocate pentru tratamentul acestora s-au ridicat la 6,6 miliarde de lire sterline [106].

Creșterea semnificativă a incidenței bolilor cronice la nivel global constituie o provocare pentru angajații implicați în domeniul asistenței medicale. Bolile cronice indiscutabil trebuie să fie în continuu controlate. Cele mai întâlnite sunt: bolile sistemului cardiovascular, respirator ș.a., care au un impact semnificativ asupra calității vieții persoanei respective și a familiei. Totodată, incidența unor astfel de boli crește cu vârsta, iar această categorie de persoane consumă o proporție destul de mare din resursele asigurărilor sociale.

Conform OMS, aspectele enunțate mai sus au reprezentat principala cauză a dizabilităților în a.2020 și problema cea mai costisitoare a sistemelor de sănătate [126].

Atât pentru profilaxia bolilor cronice ale sistemului cardiovascular și respirator, cât și la pacienții tratați de COVID-19 (care rămân cu sechele respiratorii) a devenit acută întrebarea privind înregistrarea periodică în dinamică a stării sănătății, adică este vorba de telemonitorizarea personală a unor indici vitali (frecvența contracțiilor cardiace, frecvența respirației, tensiunea arterială, temperatura corpului și saturației oxigenului din sânge). Anume serviciile de telemedicină, care furnizează la distanță servicii medicale, pot contribui la îmbunătățirea calității vieții pacienților și, totodată, pot răspunde provocărilor cu care se confruntă sistemele de sănătate.

Așadar, analiza morbidității și mortalității populației denotă actualitatea telemedicinii în supravegherea stării funcționale a organismului uman în continuu și la distanță în scopul întreprinderii acțiunilor operative de corecție a funcțiilor dereglate și a sănătății somato-vegetative. Monitorizarea la distanță este foarte practică și economică pentru pacienții care au boli cronice și va reduce costurile spitalizărilor.

1.2. Sanocreatologia și nosologia – necesitățile lor în dezvoltarea telemonitorizării

Odată cu dezvoltarea sanocreatologiei [263, 264, 265, 266, 267, 268, 269], destinată de a forma și menține dirijat sănătatea, a devenit acută întrebarea privind înregistrarea periodică în dinamică a stării sănătății, adică este vorba de telemonitorizarea personală a ei. Aceasta este condiționată de faptul că, odată cu progresul științific și tehnologic, crește numărul factorilor stresogeni, condițiile de viață devin mai agresive, cu consecințe negative asupra sănătății, ceea ce presupune monitorizarea dinamică a funcțiilor organelor de importanță vitală. Cercetările efectuate în domeniul stresului, au demonstrat impactul major asupra stării fiziologice și psihice a unei persoane. totodată ținând cont de nivelul de morbiditate în societatea a predeterminat apariția unui nou domeniu în biomedicină -sanocreatologia [270].

Referitor la rolul semnificativ al telemonitorizării în nosologia bolilor cronice puțin probabil că cineva poate să pună la îndoială îmbătrânirea populației și maladiile cronice, care frecvent se răspândesc și necesită nu numai o supraveghere continuă a lor, dar și cheltuieli suplimentare, ritmul evaluat de creștere la nivel mondial va constitui a câte 5% anual până în a. 2022.

Proiecțiile realizate estimează că până în anul 2025 aproximativ 20% din populație vor avea vârsta de peste 65 de ani [4]. Totodată, s-a stabilit, că între a. 2010 și a. 2060, ponderea populației de peste 80 de ani – un grup de vârstă cu cerințe medicale ridicate – se va dubla. S-a evaluat că raportul persoanelor în vârstă va fi de 21% în a. 2050, iar incidența și dominarea maladiilor cronice, cum ar fi bolile cardiovasculare, bolile pulmonare și diabetul, vor continua să sporească. Anume monitorizarea pacienților la distanță poate fi o abordare promițătoare pentru managementul formării și menținerii dirijate a sănătății și pacienților cu boli cronice [76, 124].

Conform datelor Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie, în viitorul nu atât de îndepărtat, sănătatea se va crea și menține dirijat, se prevede supravegherea în continuu și la distanță a stării sănătății prin telecomunicație.

Datele, expuse de către Organizația Națiunilor Unite (ONU), anunță că peste 40 de ani vârsta de 60 de ani va atinge fiecare al cincilea cetățean al Terrei. În anul 2045, numărul total de persoane cu vârsta mai mare de 60 de ani pentru prima oară va depăși numărul persoanelor care nu au atins încă vârsta de 14 ani [105, 107].

Încălzirea globală la fel prezintă o problemă stresantă pentru persoanele vârstnice și pentru cele ce suferă de boli cronice. S-a stabilit că fiecare creștere cu 1°C a temperaturii medii zilnice a dus la amplificarea numărului de decese cauzate de boli coronariene cu 2,7%, afecțiuni cerebro-vasculare cu 4,7%, iar din cauza bolilor respiratorii cu – 8,7% [155, 194]. S-a demonstrat că eliminarea factorilor de risc ar putea preveni 3,4% din cazurile de boli coronariene [130].

„În țările UE se estimează că mortalitatea crește cu 1-4% la fiecare ridicare cu un grad a temperaturii mediului, ceea ce înseamnă că mortalitatea legată de căldură ar putea crește cu 30,000 de decese pe an până în a. 2030 și cu 50,000–110,000 de decese pe an până în a. 2080.

Persoanele în vârstă, cu o capacitate redusă de control și de reglare a temperaturii corpului, prezintă cel mai mare risc de deces ca urmare a șocului caloric și a tulburărilor cardiovasculare, respiratorii și metabolice” [34].

Cercetările, efectuate de către unii autori din China, confirmă impactul factorilor meteorologici, în special efectele temperaturii ridicate ale mediului asupra morbidității generale, sporirile internărilor spitalicești pentru persoanele care suferă de boli cardiovasculare [147].

Deci prevenirea afecțiunilor patologice, inclusiv ale sistemului circulator în urma stresului termic, este mult mai eficientă, mai simplă și mai ieftină, decât a le trata [10].

În Europa speranța de viață este în continuă creștere. Numărul persoanelor în vârstă trăind singure este în creștere datorită îmbătrânirii populației europene: în a. 2030, 37% din populația europeană va avea mai mult de 60 de ani, în timp ce persoanele mai în vârstă de 80 ani, care reprezintă astăzi 3% din populația europeană vor reprezenta 10% din populația anului 2050.

Acest fenomen demografic va antrena o creștere a problemelor legate de vârstă (generatoare a pierderii de autonomie), cât și o scădere a numărului populației active. Prognozele demografice la nivel global atestă creșterea continuă a numărului de vârstnici în structura populației, după anul 2050 ponderea acestora depășind treptat ponderea copiilor (0 – 14 ani) [227].

În Republica Moldova, conform prognozei demografice efectuate de către cercetătorii Academiei de Științe a Moldovei, până în anul 2050, se remarcă că valul de îmbătrânire considerabilă s-a produs începând cu anul 2015, când în structura populației s-a egalat ponderea persoanelor cu vârsta de 0 – 14 ani cu ponderea persoanelor de 60 de ani și peste, iar după anul 2015 prima variabilă a avut o descreștere constantă, iar a doua va crește continuu pe toată perioada prognozată [28, 60].

Sursele bibliografice confirmă că într-adevăr îmbătrânirea populației are urmări și implicații esențiale asupra tuturor aspectelor vieții umane, inclusiv asupra sănătății – pe măsură ce îmbătrânim, incidența și prevalența bolilor cronice, cum ar fi afecțiunile cardiovasculare, bolile pulmonare, continuă să sporească, iar acestea au devenit cauze majore de mortalitate în aproape toate țările. Cu cât incidența lor crește, cu atât se reduce speranța de viață, calitatea vieții și se măresc inclusiv costurile pentru îngrijirea sănătății, fiind implicate prețuri mai mari [76].

O nouă cale de soluționare a problemelor sus menționate, conform Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie, prezintă formarea și menținerea dirijată a sănătății, grație unui sistem de telemonitorizare în continuu a stării funcționale a organismului uman.

În baza cercetărilor complexe, efectuate pe parcursul a mai multor ani în domeniul stresului, dereglărilor funcționale și adaptării, tutelate în spațiul ex-sovietic de Institutul de Fiziologie al Academiei de Științe a Moldovei, a fost elaborată strategia cercetărilor ce țin de problema sănătății, conform căreia a fost propusă și argumentată o nouă abordare a soluționării acesteia, în comparație cu cea patogenetică, utilizată în medicina contemporană în studiul legităților de dezvoltare a dereglărilor. Astfel a fost fondată sanocreatologia – o nouă știință care are ca scop elaborarea teoriei și practicii de prevenire a degradării biologice precoce a organismului uman, formării și menținerii dirijate a sănătății, reproducerii descendenților sanogeni în conformitate cu condițiile de viață [265].

„Conceptul cu privire la sănătatea integrală a fost elaborat, în premieră, ca punct de reper al sanocreatologiei, conform căruia sănătatea organismului uman prezintă un fenomen determinat de procesele genetice, biochimice, morfologice, fiziologice și psihice interdependente și inter-coordonate, care se manifestă, în linii generale, nu numai prin crearea și menținerea morfologică, funcțională completă a organelor și sistemelor la nivel filogenetic, determinat prin coordonarea și integrarea funcțiilor lor, prin menținerea homeostaziei în condițiile instabilității factorilor mediului ambiant, dar și prin potențialul adaptiv înalt, ce asigură realizarea necesităților fiziologice, cognitive, sociale, perceperea adecvată a mediului înconjurător și reproducerea descendenților sănătoși” [27].

Morbiditatea și mortalitatea prematură, cauzată atât de patologii cardiovasculare, cât și de alte maladii cronice, poate fi rezolvată datorită implementării teoriei și metodelor sanocreatologiei. Această speranță se bazează pe faptul că sanocreatologia, fiind condiționată de vectorul dezvoltării științei contemporane și necesitățile practice, are ca scop prevenirea și stoparea degradării morfo-funcționale precoce a societății contemporane, preîntâmpinarea morbidității diverselor maladii, precum și de a crea și menține dirijat sănătatea în scopul sporirii longevității. Semnificația acestei științe este determinată și de faptul că până în prezent persistă tendința de creștere a morbidității maladiilor somatice, nervoase și psihice, viciilor congenitale, morfologice și fiziologice, deși investițiile în dezvoltarea medicinei sunt în continuă creștere [26].

„Schimbările demografice, bolile cronice, problemele regionale solicită ajutorul medical în zonele cu populație redusă, ridică probleme grave sistemului de sănătate. Progresul rapid din tehnologia informației va avea un impact major asupra felului în care vor fi oferite serviciile de sănătate în viitorul apropiat. Dificultăți mari în integrarea serviciilor de telemedicină în practica zilnică constituie numărul limitat de studii pe scară largă, raportul cost/eficiență, interoperabilitatea sistemelor, cadru legal, încă insuficient conturat sau fragmentat, și lipsa

decontării serviciilor. S-au creat o serie de termeni specifici în limba engleză: *e-Health* reprezintă conceptul global, *m-Health* reprezintă folosirea aplicațiilor mobile” [80, 206].

Unii autori relevă că morbiditatea înaltă, cauzată de maladiile cronice și pronosticul lor alarmant au indicat o dezvoltare accelerată în domeniu sistemelor informaționale și biomedicale. Există o cerere crescândă pe piață pentru echipamente destinate monitorizării unor parametri vitali.

Parametrii care sunt clasificați ca „vitali”, folosiți pentru monitorizarea stării organismului și care sunt obligatori de a fi monitorizați, prezintă măsurarea: frecvenței contracțiilor cardiace, frecvenței respirației, a tensiunii arteriale, temperaturii corpului și saturației oxigenului din sânge [219, 241].

Reieșind din faptul că incidența maladiilor sistemului cardiovascular și respirator cresc într-un ritm alarmant, Organizația Mondială a Sănătății a lansat la nivel mondial un program privind prevenirea și tratamentul corect al acestor maladii, prin elaborarea unor strategii menite să diminueze incidența acestor afecțiuni [126].

Afecțiunile cardiace și necesitatea de operativitate în situații de urgență au determinat apariția diverselor dispozitive pentru monitorizarea cardiacă la distanță. S-a demonstrat că, anume serviciile de telemedicină, vor permite utilizarea metodelor de diagnosticare și tratament, în timp real, fără necesitatea de deplasare a pacientului [14].

Totodată, planul de acțiune *e-Health (e-Sănătatea)* al Comisiei Europene pentru perioada 2012-2020 a fost prevăzut un plan bine structurat care a pus în centrul atenției abilitarea atât a pacienților cu boli cronice ale inimii și ale sistemului respirator, cât și a personalului medical, conectarea dispozitivelor, tehnologiilor și investițiilor în cercetare către medicina personalizată a viitorului. Acest lucru înseamnă furnizarea serviciilor de sănătate mai sigure, mai inteligente centrate pe pacient. Având în vedere creșterea rapidă a utilizării smartphone-urilor și a tabletelor, planul de acțiune a inclus, de asemenea, un accent special asupra sănătății mobile (*m-Health*) [127].

Conform unui raport IHS Technology, în a. 2020, circa 4 milioane de pacienți, din întreaga lume, au beneficiat de monitorizare medicală de la distanță, față de 664,000 în a. 2014 [84]. Monitorizarea la distanță a pacienților cu boli pulmonare obstructive a înregistrat o creștere anuală de 29%, ceea ce rezultă un număr de circa 371,000 de monitorizați în a. 2020. Numărul hipertensivilor monitorizați de la distanță se estimează la un ritm anual de 38% astfel în a. 2020 a ajuns la 574,000. La fel a crescut numărul pacienților cu boli mintale monitorizați de la distanță. În a. 2014, numărul acestora era de 26,000, a crescut cu un ritm anual de 38% și a ajuns la 182,900 în a. 2020 [84].

Printre perspectivele monitorizării de la distanță a tensiunii arteriale la pacienții cu hipertensiune arterială, beneficiile a acestei practici, ar conduce la reducerea numărului de apeluri de urgență, de ambulanță, scăderea numărului de pierderi ale locurilor de muncă și micșorarea sigură a numărului de accidente vasculare cerebrale, a infarctului miocardic și, în final, o diminuare a mortalității cardiovasculare [248].

Managementul insuficienței cardiace acute și cronice prezintă generări esențiale pentru sistemele de sănătate din toată lumea. Fezabilitatea și percepția îngrijirii de la distanță a pacienților de către doctori a fost evaluată în cadrul studiului Telemedical Interventional Monitoring in Heart Failure (TIM-HF) cu obiectivul de a dovedi eficacitatea monitorizării pacientului la distanță față de terapia obișnuită din ghiduri în privința deceselor totale, a internărilor pentru insuficiență cardiacă, a calității vieții și a altor indicatori pentru sănătatea cardiovasculară [154, 188].

Sursele bibliografice menționează că planul de sănătate socială, implementat în regiunea Veneto (Italia), unde s-a hotărât de a se acorda o atenție mai sporită profilaxiei bolilor cronice, a fost introdusă o platformă specială cu servicii de telemedicină integrată. Cu ajutorul acesteia este posibilă colectarea datelor clinice și a informațiilor despre necesitățile pacienților cu boli cronice. Pacienții au un buton special de alarmă la dispozitivele portabile, care permit să determine situațiile de urgență în timp real, precum și efectuarea măsurărilor unor parametri fiziologici. Datele prelevate, privind starea sănătății, sunt difuzate de la pacient la centrul regional de telemedicină și prelucrate de specialiști instruiți [171].

Un astfel de serviciu de telemedicină asigură monitorizarea permanentă, permițând identificarea situațiilor de urgență la pacienții care stau acasă. Semnalele de urgență sunt trimise direct la Centrului Regional, unde operatorii trebuie să rezolve problema, apelând pacientul sau îngrijitorul său, dacă este necesar, conectează departamentul de urgență sau serviciile sociale [170, 171].

S-a stabilit că fenomenul demografic va antrena o creștere a problemelor legate de vârstă și o scădere a numărului populației active. Proiecțiile realizate estimează că, până în anul 2025, aproximativ 20% din populație vor avea vârsta de peste 65 de ani, iar acestei prognoze i se adaugă alte schimbări demografice care vor solicita și mai mult serviciile de telemedicină [124].

În Republica Moldova, din datele prezentate de către unii autori se menționează dinamica numărului populației vârstnice, comparativ cu populația tânără și cea adultă, cât și față de populația totală, a crescut pe parcursul a circa 70 ani (1930-2003) cu 126,3%, populația în vârstă de 60 de ani și peste a sporit cu 345%; în același timp, populația tânără a cunoscut o tendință continuă de scădere, iar, ca rezultat, vor solicita serviciile de telemedicină [52].

În această ordine de idei, vom menționa că cercetările efectuate pe parcursul a multor ani de către cercetătorii Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie relevă, prin dovezi convingătoare, „degradarea biologică prematură a speciei *Homo-sapiens*, principalele cauze fiind modul de viață simpaticotonic, stresogen, schimbările bruște ale condițiilor de viață, formarea și menținerea spontană a sănătății omului, excluderea acțiunii legii selecției naturale în societatea umană ca forță motrice a evoluției” [263, 264, 265, 266, 267, 268, 269].

Așadar, bolile, în general, îmbătrânirea populației, încălzirea globală, stresul, incidența sporită a maladiilor sistemului cardiovascular și respirator, sporirea bolilor cronice, dezvoltarea sanocreatologiei sunt o provocare pentru sistemul de sănătate. Imperativ devine de a dezvolta sisteme de telemonitorizare la distanță a indicilor vitali la pacienți, ce va reduce numărul de apeluri de urgență și ambulanță, va reduce numărul de pierderi a locurilor de muncă și suplimentar numărul de accidente vasculare, cauzate de insuficiența acută a organelor vitale și, în final, va scădea mortalitatea [6].

1.3. Sisteme de telemonitorizare, serviciile de telemedicină

„Aspirația omniprezentă către sănătate și viață favorizează industria sănătății ca fiind cel mai mare sector industrial din lume. Ingineria biomedicală ocupă un loc central în industria asistenței medicale și este una dintre puținele domenii de inginerie care, în ansamblu, se așteaptă să continue să crească timp de mulți ani”

Tehnologiile noi, solicitarea în creștere pentru servicii medicale de calitate și acțiunea reglementărilor sunt principalele tendințe pe piața globală tradițională a sănătății în anii următori, arată studiul Deloitte 2019 (Global Healthcare Outlook). Totodată, îmbătrânirea populației și bolile cronice tot mai răspândite necesită finanțare în plus, ritmul evaluat de creștere la nivel mondial fiind de 5% anual până în 2022. Cheltuielile tot mai mari pe care trebuie să le susțină sistemele de asigurări de sănătate și bugetele publice pot fi însă micșorate datorită descoperirilor tehnologice, tot mai multe companii fiind în ultimii ani axate pe furnizarea de echipamente și produse mai ieftine, eficiente și inovatoare [4, 71].

Directorul general al OMS, Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus precizează că „folosirea tehnologiilor digitale va întări telemedicina și va permite atingerea unui obiectiv primordial de dezvoltare durabilă – accesul universal la serviciile de sănătate” [47].

Teleasistența medicală este definită ca „totalitatea sistemelor care ajută îngrijirea sănătății prin schimbul cât mai eficient de informație medicală”, iar telemedicina se consideră ca un sistem integrat de îngrijire a sănătății (asistență medicală și educație) bazat pe resurse tehnologice, organizaționale și/sau sistemice [100].

S-a stabilit că tehnologiile informaționale și de comunicații au un impact deosebit asupra desfășurării activității medicale prin posibilitatea de a crea dispozitive și sisteme noi care să permită o abordare mult mai diversificată a actului medical. Telemedicina este un sistem inovativ de monitorizare la distanță a parametrilor vitali [196, 219], ce diferă în funcție de patologii, însușiri tehnice și financiare. Dintre aceștia vor fi menționați cei considerați relevanți pentru afecțiunile des telemonitorizate [41].

Termenul “parametri vitali” se referă la măsurarea frecvenței ritmului cardiac, a frecvenței respirației, a tensiunii arteriale, a temperaturii corpului și a saturației oxigenului din sânge, deoarece aceste valori sunt vitale organismului uman [241].

„De la stadiile incipiente de comunicare la distanță ale grecilor antici care foloseau pentru avertizarea pericolelor semnale de fum, după descoperirea telegrafului și a radioului evoluția telemedicinii a devenit mai rapidă, ajungând în epoca modernă, la folosirea tehnicilor avansate de comunicare electronică, digitală, prin intermediul procesării computerizate a datelor” [35].

Telemedicina modernă începe în anul 1905 cu experimentele de pionierat ale medicului Willem Einthoven, care a transmis la mari distanțe traseele electrocardiogramelor înregistrate, prin intermediul telefoniei fixe. Primele aplicații ale telemedicinii au fost în domeniul cardiologiei, nu al radiologiei, așa cum s-a crezut multă vreme. Începând din anii 1990 după o perioadă de evoluție, telemedicina a ajuns în perioada sa de maturitate și este recunoscută și acceptată de către întreaga lume medicală [35].

La etapa actuală de dezvoltare, telemedicina este sprijinită de metode avansate de telecomunicație și comunicare electronică și de dispozitive high-tech din ce în ce mai performante. Prin intermediul internetului, a noilor tehnologii și a infrastructurii de telecomunicații mobile, telemedicina capătă prioritară cu atributul său – „omniprezență”. Serviciile medicale pot fi furnizate oricând, din orice locație, oferind pacienților un timp redus și diminuând semnificativ costurile administrative [40, 41, 46].

Evaluarea beneficiilor aduse de telemedicină se pot face din trei perspective: cea a furnizorilor de servicii medicale, cea a clienților beneficiari sau a pacienților și cea a societății în general. Medicina tradițională este o sferă destul de conservatoare în activitatea sa și în raport cu relațiile interumane. Cu toate acestea, pentru a rezolva problema dată, este necesar de a introduce noi tehnologii și de a schimba relația dintre medic și pacient. Soluționarea acestor probleme, în consecință, va duce la diminuarea costului la întregul sistem de sănătate, care, în multe țări ale lumii, atinge 12-14% din produsul național brut [256].

„În SUA, în prezent, sunt înregistrate peste 100 de Centre specializate în servicii de telemedicină și numeroase organizații care urmăresc activitatea acestor adevărați piloni ai sistemului medical american. Statisticile efectuate de către Asociația Americană de Telemedicină

și de Centrul de *e-Sănătate* și Telemedicină din California, instituție care a pus baza legislației și a reglementărilor specifice domeniului telemedicinii, demonstrează că cei 20 de ani de practicare a telemedicinii au adus reale și semnificative îmbunătățiri, atât din punct de vedere al rapidității, siguranței și calității actului medical, cât și din punct de vedere financiar, ca un beneficiu suplimentar” [35].

Agenda digitală pentru Europa include un număr de acțiuni și obiective de *e-Sănătate* specifice, ca parte a unei strategii mai extinse privind îngrijirea sustenabilă a sănătății și furnizarea de sprijin bazat pe TIC, pentru o viață demnă și autonomă [1].

Inovarea în domeniul sănătății are potențialul de a contribui la reducerea costurilor asistenței medicale și îmbunătățirea calității asistenței medicale. Unul din domeniile programului „Sănătate pentru creștere economică, care a fost propus, este evaluarea tehnologiei medicale (health technology assessment), a dispozitivelor medicale etc. [57].

Pentru finanțarea activităților de „Sănătate publică”, în cadrul financiar multianual 2014 – 2020 al UE, au fost alocate 449 de milioane de euro [126]. La fel, Ministerul Sănătății din Republica Moldova a stabilit că cetățenii Republicii Moldova vor beneficia de servicii de telemedicină (telediagnostic, teleconsultație, telemonitorizare) [32]. Cele mai promițătoare aplicații în telemedicină includ: profilaxia și schimbarea stilului de viață; managementul bolilor cronice, incluzând aici hipertensiunea, diabetul și insuficiența cardiacă; detectarea aritmiilor, monitorizare oferită de stimulatoare și defibrilatoare implantabile [83]. Morbiditatea înaltă a maladiilor cronice și pronosticul lor alarmant au indicat o dezvoltare accelerată în domeniul sistemelor informaționale și biomedicale [219, 241, 257].

„Totodată, pandemia, provocată de noul coronavirus, a accentuat problemele majore ale sistemelor de sănătate și asistență medicală la nivel global. Numărul de pacienți care necesită tratament, fiind infectați cu COVID-19 este în continuă creștere. În această ordine de idei, lipsa de consumabile și cadre medicale fac să crească temerile că nu toți cei care au nevoie de tratament îl vor primi. Astfel, tot mai multe guverne, instituții private și organizații apelează la soluții de telemedicină pentru a putea răspunde noilor provocări” [36].

S-a constatat că populația Europei este în curs de îmbătrânire, iar cetățenii suferă din ce în ce mai mult de maladii cronice. Starea de sănătate a acestora necesită de multe ori o atenție sporită din partea personalului medical. În anumite zone îndepărtate sau pentru anumite consultații la specialiști, asistența medicală nu este întotdeauna disponibilă. Telemedicina poate ușura accesul la tratament specializat în zone unde este lipsa de suficienți specialiști sau unde accesul la serviciile medicale se face cu greutate. Anume, telemonitorizarea poate îmbunătăți calitatea vieții pacienților cu boli cronice, micșorând astfel numărul de spitalizări în spital. Serviciile de tipul teleradiologiei și al teleconsultațiilor pot contribui la reducerea listelor de

așteptare, pot îmbunătăți utilizarea resurselor și pot ajuta la creșterea eficienței [14]. Așadar, telemonitorizarea este caracterizată ca un serviciu de telemedicină ce presupune monitorizarea de la distanță a indicatorilor vitali ale unui pacient prin intermediul unor dispozitive și tehnici corespunzătoare [184].

Datele pot fi culese fie în mod automat, prin intermediul dispozitivelor personale de monitorizare a stării de sănătate (dispozitive electronice, care pot fi portabile sau implantabile, prelevează date cu privire la anumiți parametri vitali), fie pe baza colaborării active a pacienților (de exemplu, prin utilizarea unui instrument online pentru completarea valorilor zilnice ale tensiunii arteriale sau glicemiei). După ce au fost prelucrate și transmise unui medic sau specialist de profil, datele pot fi utilizate pentru optimizarea procedurilor de monitorizare și tratament a pacienților [14].

Apariția tehnologiilor Wi-Fi și Bluetooth au facilitat transmiterea informației fără fir între pacienți și echipamentul de monitorizare [211]. Aceste sisteme permit ca pacientul monitorizat să se deplaseze liber la o anumită distanță de monitor. De exemplu, intervalul de transmitere cu ajutorul tehnologiei Bluetooth variază de la 10 metri (pentru versiunea 3.0) și poate atinge 240 de metri (versiunea 5.0). Mobilitatea pacienților, în afara spitalului, poate fi sporită prin utilizarea unei rețele GSM (sau a rețelelor 3G, 4G sau 5G) care poate transmite datele prelevate la distanțe mai mari către centrul de monitorizare, pentru o analiză amplă a lor. A doua variantă, prezintă o rețea de noduri ce utilizează protocolul Bluetooth, care necesită consum mai mare de energie. Transferul de date poate avea loc utilizând diferite tehnologii printre care – linii telefonice, GSM, Wi-Fi, ISDN, ATM, Internet, sateliți, etc. [64].

Telemedicina oferă patru categorii de servicii principale: stocarea, transmiterea, monitorizarea de la distanță și servicii interactive [59]. În prezent, la nivel internațional, telemonitorizarea reprezintă o metodă viabilă, a cărei eficacitate a fost probată de numeroase studii, unele încă mai sunt în desfășurare. Actualmente, persistă un număr mare de sisteme de telemonitorizare, cu diferite complexități. Astfel de sisteme sunt implementate în țările dezvoltate economic, deoarece acestea posedă un potențial tehnologic suficient. În continuare se descriu unele sisteme, cu titlu de exemplu:

1. **CodeBlue** prezintă un sistem de telemonitorizare care integrează senzori și echipamente wireless de comunicații radio bazate pe standardele *ZigBee* și IEEE 802.15.4. Senzorii pot prelua semnele vitale ca frecvența ciclului cardiac, SpO₂, concentrația de CO₂ și altele cu ajutorul senzorilor non invazivi, iar aceste informații sunt transmise către un PDA care salvează datele și le analizează. În cazul în care sunt depășite anumite valori, poate fi declanșată alarma vizuală și acustică care atenționează pacientul [112, 165].

2. Sistemul **SMART** (*Scalable Medical Alert Response Technology*) reprezintă un sistem de monitorizare a semnelor vitale și localizare a pacienților fără supraveghere. Sistemul reprezintă o combinație de senzori și modul radio care pot determina geo locația, senzor pulsoximetrie, care determină SpO₂ și un modul ECG cu o singură derivată. Modulele sunt conectate la un PDA care cu ajutorul protocolului 802.11b transmite wireless spre un centru de stocare și prelucrare a datelor spre ierarhizarea și asistarea în suport decizional [231].
3. Cercetători din Franța au creat un sistem de monitorizare în cadrul proiectului **EPIMEDICS** (*Enhanced Personal, Intelligent and Mobile System for Early Detection and Interpretation of Cardiological Syndromes*) care se bazează pe un dispozitiv inteligent portabil numit Personal ECG Monitor (PEM), care are ca scop detecția precoce a ischemiei sau a aritmiilor. Dispozitivul înregistrează 3 derivate ortogonale și, folosind un algoritm bazat pe rețele neuronale, reconstituie cele 12 derivate care sunt salvate în memoria dispozitivului sau pe cartela de memorie [92]. Datele preluate sunt analizate și pot genera alarme de nivel diferit care în caz de necesitate sunt transmise către serviciu de asistență medicală cu ajutorul tehnologiilor Bluetooth sau GSM/GPRS [202, 203, 204].
4. Sistemul **HeartView** a fost implementat de către Aerotel Medical Systems – unul dintre principalii producători mondiali de telemedicină și soluții avansate de monitorizare la distanță. Sistemul HeartView prezintă un electrocardiograf pe 12 derivații, care transmite datele prin rețeaua de telefonie mobilă, un dispozitiv ușor de utilizat. Cuprinde o gamă completă de dispozitive personale, ECG cu 1-12 canale pentru diverse aplicații de diagnosticare și servicii de urgență. Semnalele ECG, înregistrate, sunt transmise prin internet sau telefon mobil către un centru medical, unde o stație de recepție ECG bazată pe PC primește ECG transmis și îl afișează pentru analiză și evaluare [23, 86].
5. Un alt sistem de telemedicină este sistemul **AMON** (*Advanced Care and Alert Portable Telemedical Monitor*) dezvoltat între anii 2001 – 2002 în cadrul programului european EU FP5 IST. A fost elaborată o brățară cu biosenzori pentru monitorizarea indicilor vitali care integrează mai multe tipuri de senzori. Parametrii vitali care sunt necesari de monitorizat sunt rata cardiacă, saturația cu oxigen, tensiunea arterială și electrocardiograma. Adițional a fost considerată binevenită de a monitoriza nivelul de activitate fizică a pacientului pentru a corela activitatea fizică cu limitele normale ale parametrilor vitali. Prototipul folosește comunicație GSM pentru a transmite datele spre terminal, care reprezintă un server pe platforma JAVA, care rulează pe Windows, unde este analizat de un software specializat [89].
6. În România a fost implementată o platformă multimedia **TELEMES** pentru utilizarea teleserviciilor medicale complexe, unde s-a creat și dezvoltat un sistem securizat, destinat implementării teleserviciilor de consultație medicală și telemonitorizare [63, 64, 77, 190].

7. **TELEMON** prezintă un sistem integrat electronic-informatic de telecomunicații scalabil, care permite telemonitorizarea automată complexă, oriunde și oricând (la domiciliu, în spital/azil, la serviciu, a subiectului mobil etc., pe mai multe căi de comunicație), în timp real, a pacienților cronici, a persoanelor în vârstă și a celor din grupa de risc. Sistemul TELEMON include următoarele componente: hardware/software, un sub-sistem local, format dintr-o rețea personală de traductori medicali (RPT), fără fir, pentru prelevarea unor parametri vitali (ECG, frecvența ciclului cardiac, tensiunea arterială, saturația oxigenului din sânge, frecvența ritmului respirației și temperatura corpului), un calculator personal de tip PC, interfațat, radio cu RPT, pentru achiziția și prelucrarea primară a datelor specifice, conectat la Internet. Pentru subiectul mobil, prelucrarea datelor este asigurată de un calculator tip PDA interfațat cu RPT, iar transmisia acestora se efectuează prin modulele Wi-Fi sau GSM/GPRS ale PDA. Software de aplicație ține de achiziția, analiza datelor medicale, a transmisiei acestor date și/sau a celor prelucrate către serverul central, module software pentru interfațare și comunicarea bilaterală între sub-sistemul local și serverul central, software pentru monitorizarea și generarea de alarme specifice mărimii monitorizate și transmiterea acestora după caz către Stația de Ambulanță, medicului de familie, unui specialist sau unui supraveghetor desemnat [113].

8. Sistemul **MobiHealth** permite monitorizarea la distanță a pacienților și tratamentul acestora prin comunicarea wireless și integrarea senzorilor în așa numitul BAN (Body Area Network). Platforma permite managementul afecțiunilor cronice la distanță și maximizarea mobilității pacientului. Pacientul este echipat cu diferiți senzori care îi monitorizează continuu semnalele vitale, ca exemplu, tensiunea arterială, frecvența cardiacă, respirația, electrocardiograma, temperatura, saturația sângelui cu oxigen. Senzorii captează, amplifică și condiționează semnalul care mai apoi este digitalizat și transmis în rețeaua BAN. Pentru transmiterea datelor se folosește rețele wireless cu rază scurtă, ca Bluetooth, pentru a face legătura cu un PDA, iar pentru transmiterea la distanță se folosesc rețelele de telefonie 2.5G /3.5G [230].

9. Proiectul **TELEASIS** (Sistem complex, pe suport NGN pentru teleasistență la domiciliu a persoanelor în vârstă) are ca scop atât aspectul medical al telemonitorizării, cât și cel social, având drept obiectiv obținerea unor servicii personalizate pentru îngrijirea vârstnicului, micșorarea cheltuielilor internărilor și o sporire a eficienței de îngrijire la domiciliu. Scopul realizării unui astfel de sistem este acela de a permite implementarea și dezvoltarea, și în România, a serviciilor de asistență medicală și socială pentru persoanele în vârstă, la domiciliul acestora. Dezvoltarea unei componente de teleasistență, în cadrul unui serviciu de asistență, conduce la optimizarea funcționării acestuia, în sensul de a oferi servicii personalizate în funcție de anumite condiții și cerințe concrete. Pe lângă acestea, telemonitorizarea contribuie la optimizarea costurilor aferente prin implicarea focalizată a personalului medical sau de asistență

socială, prin îmbunătățirea tratamentului unor boli cronice, precum și la creșterea serviciilor de îngrijire la domiciliu. Componenta hardware este compusă dintr-un modul individualizat de teleasistență, ca interfață pentru dispozitive medicale sau senzori de mediu utilizați pentru telemonitorizare, interfață cu suportul de comunicații, internet, rețele fixe sau mobile, interfață pentru livrare a informației către beneficiar pe suport PC sau PDA [59, 74].

10. Sistemul **MEDCARE** prezintă un sistem care se utilizează pentru monitorizare a activității cardiace și permite achiziția și transmiterea prin Internet a semnalelor ECG (12 derivații), analiza acestora în timp real. Semnalele bioelectrice de la inimă sunt achiziționate, comprimate, împachetate și transmise către un server situat la centrul de telemonitorizare. Serverul asigură memorarea informațiilor în baza de date despre pacient, stochează semnalele electrocardiografice și le retransmit on-line de la unitățile de achiziție sau pe cele anterior memorate. De asemenea, aplicația conține instrumente de măsurare a amplitudinilor și duratelor segmentelor ECG [18, 19, 42, 63].

11. „**CardioNET** (Sistem Integrat pentru Supraveghere Continuă în Rețea Inteligentă *e-Health* a Pacienților cu Afecțiuni Cardiologice) este utilizat pentru telemonitorizarea pacienților cu afecțiuni cardiace (cardiopatie ischemică, tulburări de ritm), realizând o optimizare a schimbului de informații între pacient, medic de familie, policlinică, spital, casa de asigurări de sănătate și o informare exactă a antecedentelor medicale anterioare, a tratamentelor și evoluția acestor patologii. Arhitectura sistemului CardioNET este una de tip distribuit, alcătuită din mai multe servere de baze de date, terminale de acces și echipamente medicale mobile interconectate prin Internet. Între serverele de baze de date exista un protocol de comunicație pentru schimbul de informații administrative și medicale referitoare la pacienți. Datele despre un pacient sunt stocate pe mai multe servere, mărind astfel fiabilitatea sistemului. Structura multi-nivel a sistemului CardioNET este implementată pe patru nivele: infrastructura de comunicație (Internet și Intranet), serverele de baze de date, procedurile de prelucrare, interogare și acces securizat la date, interfețele de achiziție de date, generare medicale și de acces interactiv la informații medicale. Interfețele de achiziție a datelor de la pacient sunt de două tipuri: interfețe pentru operator uman și interfețe pentru dispozitive de analiză. În primul caz, operatorul (pacient, asistentă sau medic), introduce datele medicale ale pacientului, folosind formulare (pagini web) predefinite. În cel de al doilea caz, datele sunt preluate direct de la dispozitive prin intermediul conexiunilor seriale (RS232/USB) sau wireless (802.11/Bluetooth). Transmiterea datelor poate fi activată fie la o solicitare expresă a operatorului, fie în mod automat, atunci când echipamentul detectează o anumită situație critică” [61].

Implementarea serviciilor de telemedicină implică, evident, dezvoltări economice bazate pe tranzacții comerciale între producătorii/distribuitorii din domeniul tehnologiilor digitale și administrațiile medicale publice sau private.

Țările din Europa au adoptat o politică adecvată și materializată ca atare în bugetele sistemelor de sănătate publice sau private prin care își exprimă ambiția de a juca un rol important în materie de oferte tehnologice și de servicii de telemedicină. Monitorizarea la distanță este fezabilă din punct de vedere economic, deoarece costul implementării sale este mai mic decât efectul economic așteptat, datorită reducerii cererilor de îngrijire medicală și a menținerii resurselor de muncă în economie. Crearea de noi piețe și de noi locuri de muncă constituie un derivat al acestor politici.

Din punct de vedere economic, obiectivele serviciilor de telemedicină se axează pe îngrijiri eficiente și rapide, pe o mai bună organizare și monitorizare a sistemului de sănătate, pe diminuarea costurilor actelor medicale etc. Potrivit statisticilor, se poate trage concluzia că telemedicina aduce profituri substanțiale.

Conform unui studiu realizat în Franța, se estimează că telesupravegherea medicală a 700,000 de persoane diabetice se traduce prin economii pentru sistemul de sănătate de 925 de euro (persoana/an), deci o economie anuală de 647,6 milioane de euro. În total, telemedicina aplicată pacienților suferinzi de cele patru principale boli cronice (insuficiență cardiacă, hipertensiune arterială, diabet și insuficiență renală) a dus la scutirea a 2,6 miliarde de euro din economie pe an în a. 2020 [66].

S-a confirmat că, la nivel mondial, serviciile de telemedicină au o creștere semnificativă, iar estimările făcute au evidențiat o creștere de la 9,8 miliarde dolari în 2010, la 23 miliarde de dolari în 2015 (o rată compusă de creștere anuală de peste 18,6% în următorii ani). În anul 2016 a atins valoarea de aproape 10 miliarde de dolari – 22,5% creștere, doar pentru segmentul de telehome [98]. Piața serviciilor de telemedicină era evaluată în 2013 la aproximativ 60,8 miliarde de dolari iar în a. 2020 a ajuns la 233,3 miliarde de dolari. Segmentul de *m-Health* a avut o creștere, de la 24,3 miliarde de dolari până la 55,9 miliarde de dolari în a. 2020 [135, 136].

Unii autori confirmă că monitorizarea de la distanță a tensiunii arteriale este fezabilă din punct de vedere economic, deoarece costul implementării sale este mai mic datorită reducerii cererilor de îngrijiri medicale și economisirii resurselor de muncă în economie [252].

Analistii de la Berg Insight prognozează o creștere a veniturilor de la monitorizarea la distanță a pacientului până la 46,1 miliarde de euro în a. 2023. Aceste date citează compania într-un nou raport privind piața de monitorizare la distanță a pacienților, ale cărei venituri în a. 2018 au fost de 17,5 miliarde de euro. Fluxul de venituri este alcătuit din venituri provenite din

dispozitivele de monitorizare medicală, dispozitivele de conectare a sistemelor medicale, platformele pentru furnizarea de servicii medicale de la distanță și programele *m-Health* [192].

Cele mai mari rate de creștere sunt demonstrate de noile platforme de îngrijire medicală și se așteaptă ca, în perioada descrisă, rata medie anuală de creștere în acest sector al pieței, să fie de 53,1%. Noile modele de îngrijire medicală bazate pe aceste tehnologii corespund adesea preferințelor pacienților de a conduce un stil de viață mai sănătos, mai activ și mai independent [192].

În raportul dării de seamă al Brookings Institution se declară că, în a. 2017, venitul de la *m-Health* în SUA a atins 5,9 miliarde de dolari, iar în China – circa 2,5 miliarde de dolari. În Rusia, volumul pieței *m-Health* a atins 800 milioane dolari și, astfel, a intrat în lista top a celor 10 țări în acest domeniu [246].

În Scoția, un program de telemedicină care a implicat mai mult de 7,9 mii de persoane a fost realizat din a. 2006 până în martie a. 2008. Peste doi ani de la inițierea proiectului, mai mult de 11 milioane de lire s-au economisit pentru sistemul de sănătate. Printre criteriile de determinare a economiilor a fost externarea mai devreme din spital și reducerea a numărului de spitalizări neplanificate etc. [99].

În cadrul proiectului european „*Renewing Health*” [170, 193] s-a efectuat un studiu aleatoriu, al persoanelor cu insuficiență cardiacă cronică pentru a evalua dacă serviciul integrat îmbunătățește rezultatele clinice, economice și organizaționale la pacienții care utilizează serviciile de telemedicină. Studiul a arătat că rezultatele clinice și economice ale pacienților care utilizează acest serviciu au fost bune [151]. Whitten și colaboratori au analizat 55 de proiecte ce se refereau la serviciile de telemedicină, în care s-a estimat costul lor. S-a stabilit că serviciile de telemedicină oferite economisesc timp și bani [233].

Sursele bibliografice relevă că implementarea programului de telemedicină la domiciliu, în spitalele veteranilor din SUA, a creat reducerea numărului de spitalizări cu 20%, iar numărul zilelor la pat - cu 25%. Costul programului de telemedicină pentru fiecare pacient a fost de 1,600 de dolari pe an. Pentru comparație: organizarea asistenței medicale primare la domiciliu costă 13 mii de dolari anual și îngrijirea medicală într-o casă privată pentru bătrâni – 77 mii dolari pe an. Sondajele efectuate în perioada aa. 2006-2007 au arătat că 84% dintre pacienți au fost mulțumiți de folosirea serviciilor de telemedicină [117].

Într-un raport publicat de King's Fund referitor la asistența medicală din Regatul Unit, autorul denotă că economiile preconizate pentru tratamentul maladiilor, care fac parte din grupul major de boli, după introducerea tehnologiei de telemedicină atinge nivelul de la 20,4% la 54,6% pe an [114, 115].

S-a demonstrat că medicina tradițională este destul de conservată în privința relațiilor umane. Pentru a rezolva problemele de care se confruntă există o necesitate stringentă de a introduce tehnologii noi și de a face schimbări în relațiile medic-pacient, deoarece astfel de probleme, atrag cheltuieli tot mai mari în sistemul de asistență medicală, care în multe țări ale lumii atinge 12-14% din produsul național brut [256].

Așadar, introducerea telemonitorizării în serviciile de sănătate va schimba relația dintre medic și pacient. Noile modele de îngrijire medicală bazate pe servicii de telemedicină corespund adesea preferințelor pacienților de a duce un stil de viață mai sănătos, mai activ și mai independent. Va fi acea modalitate așteptată care va crește calitatea vieții pacienților și va diminua cheltuielile pentru tratament și spitalizări, iar efectele se vor resimți prin diminuarea costului în întregul sistem de sănătate.

Domeniile telemonitorizării și telediagnosticului au un ritm accelerat de dezvoltare cu impact major în medicină. Telemedicina, adică furnizarea la distanță a serviciilor medicale, poate contribui la îmbunătățirea cerințelor calității vieții pacienților și, totodată, poate reacționa generărilor cu care se confruntă sistemele de sănătate. Astfel, beneficiile telemedicinii pot contribui la:

1. Îmbunătățirea accesului pacientului la îngrijiri medicale de specialitate;
2. Diminuarea greșelilor medicale prin accesul rapid al specialistului la o a doua opinie referitoare la diagnosticarea/tratamentul unui bolnav;
3. Majorare șanselor de supraviețuire a pacienților aflați în situații de urgență în zone în care nu există specialiști, prin acces la consultații de specialitate bazate pe informații;
4. Micșorarea anumitor cheltuieli pentru sistemul sanitar prin reducerea costurilor necesare transportării pacienților între diferite spitale [22].

La congresul a 14-a ISHNE (*International Society for Holter and Non-invasive Electrocardiology*) o atenție deosebită a fost acordată serviciului de telemedicină care este o direcție prioritară în dezvoltarea activității ISHNE. Totodată, la acest congres participanții din Argentina, Germania, Franța, Polonia, Statele Unite ale Americii au confirmat rolul și importanța serviciilor de telemedicină în eficacitatea tratamentului pacienților cu dereglări a ritmului cardiac și a pacienților care poartă pacemaker [255].

Rezultatele cercetărilor efectuate a patru meta-analize [110, 111, 145, 153] au stabilit că monitorizarea la distanță în insuficiența cardiacă cronică poate diminua mortalitatea totală de la 6 până la 12 luni, numărul și durata spitalizărilor pentru agravarea fenomenelor de insuficiență cardiacă [154].

Un studiu efectuat de către CHAMPION [82] în care s-a utilizat dispozitivul CardioMEMS fără fir, implantat pentru a monitoriza hemodinamica tensiunea arterială și pentru

a ghida optimizarea tratamentului, a constatat reducerea semnificativă a riscului în cazul internărilor la pacienții cu insuficiență cardiacă, în comparație cu grupul de control.

Rezultatele obținute de către unii autori, indică că monitorizarea la distanță poate reduce până la 30% [142] mortalitatea la pacienții cu insuficiență cardiacă, totodată, poate reduce spitalizările și poate îmbunătăți calitatea vieții [82, 142, 154].

Rezultatele cercetărilor efectuate pe 1450 de pacienți, cu scopul de a evalua perioada medie, inițial de la apariția complicațiilor până la înregistrarea de către medic a acestor cazuri prin metode de observații clasice (ambulatoriu) în comparație cu metoda de telemonitorizare, au demonstrat că aplicarea serviciului „*Home Monitoring*” este mai rapidă și necesită mai puțin de 30 de zile, pentru a diagnostica și a preciza diverse patologii ale sistemului cardiovascular [167, 228].

Un beneficiu important al telemedicinii îl constituie avantajul evident al timpului, 5 ore necesare pentru realizarea unei consultații pentru pacientul critic la Bălți, față de 0,5 ore soluționarea cazului prin intermediul serviciilor de telemedicină. Totodată reduce efectul istovitor, exclude deplasările neargumentate la specialiști, permite creșterea numărului de pacienți consultați, utilizarea transportului sanitar specializat în cazurile indicate [40].

La fel, s-a stabilit că monitorizarea de la distanță a tensiunii arteriale la 1 milion de oameni va permite prevenirea a 1940 de decese timp de 5 ani, în cazul în care 90% de pacienți vor fi monitorizați, iar în cazul a 30% se vor salva 645 de vieți. S-a demonstrat că introducerea masivă a monitorizării de la distanță va reduce povara sistemului de sănătate, se are în vedere prevenirea infarctului miocardic (95 de cazuri cu o acoperire de 90% timp de 5 ani), a accidentelor vasculare cerebrale (630 de cazuri cu o acoperire de 90% timp de 5 ani) și limitarea apelurilor medicale de urgență. Serviciile de telemedicină ajută la reducerea ratelor de morbiditate și mortalitate, astfel, pacienții monitorizați trăiesc cu 15-55% mai mult decât cei care primesc îngrijiri uzuale. Soluțiile de telemedicină permit accesul la îngrijire pentru un număr mai mare de pacienți și sunt utile în special în zonele rurale izolate sau pentru pacienții care au nevoie de tratament de specialitate de la medici din alte regiuni sau țări [73, 252].

Unii autori reliefează că monitorizarea de la distanță a tensiunii arteriale la pacienții cu hipertensiune arterială are impozantă perspectivă, iar, ca beneficiu imediat al acestei practici, va fi reducerea numărului de apeluri de urgență și ambulanță, reducerea numărului de pierderi ale locurilor de muncă și o reducere suplimentară a numărului de accidente vasculare cerebrale, a infarctului miocardic, și, în final, o scădere a mortalității cardiovasculare [248].

S-a stabilit că serviciile de telemedicină și telesupraveghere la domiciliu este necesar, pentru circa 72% dintre persoanele peste 70 de ani, care locuiesc singure, iar 90% dintre ele doresc să fie independente. Utilizarea acestor servicii va duce la reducerea costurilor medicale,

îmbunătățirea îngrijirilor medicale în zone geografice izolate [148]. S-a demonstrat că în 97% de cazuri la stabilirea diagnozei, în baza datelor prelevate de către „*Home Monitoring*”, sunt identice cu concluziile stabilite de către personalul medical din ambulatoriu [208].

În Polonia, din partea sistemului de sănătate s-a primit rambursare pentru introducerea sistemului de monitorizare la distanță. În rezultatul utilizării s-a stabilit că sistemul de monitorizarea la distanță a pacienților cu insuficiență cardiacă și dispozitive cardiace implantabile, a dus la o scădere a ratei de spitalizare față de monitorizarea standard (37,1% versus 45,5%) [81].

S-a stabilit că, în anul 2020, în Rusia, a fost introdusă pe etape monitorizarea electronică a pacienților cu ajutorul echipamentelor individuale, care înregistrau tensiunea arterială, frecvența cardiacă, concentrația glucozei în sânge, localizarea pacientului etc. Totodată, în cazul schimbărilor critice, acestor parametri vitali a fost accesată sistemul de alarmă [249, 250].

Sursele bibliografice denotă că frecvența diverselor afecțiuni cardiovasculare care au fost înregistrate pe parcursul a 18 luni cu ajutorul telemonitorizării a fost diminuată, cu 67% din cazuri, comparativ cu supravegherea ambulatorie a pacienților după metodele clasice [253].

Unele publicații confirmă perspectiva și importanța majoră a aplicării serviciului de telemonitorizare a pacienților cu patologii ale sistemului cardiovascular [272].

Directorul Institutului de Chirurgie în numele lui Vishnevsky A.V., relevă că anume telemonitorizarea ar putea fi soluția de a rezolva mai multe probleme de sănătate în Rusia pentru pacienții cu probleme cardiace, utilizatorii de echipamente mobile. Ca rezultat, telemonitorizarea va reduce mortalitatea pacienților, va spori supraviețuirea lor, va diminua costul tratamentului de cca de două ori și necesitatea de a contacta un medic [273].

S-a stabilit că în SUA în anul 2017, 2,8 milioane de persoane foloseau monitorizarea la distanță, printre care pacienți cu patologii ale sistemului cardiovascular, care necesitau monitorizarea în timpul somnului. BergInsight estimează că numărul de pacienți care utilizează dispozitive de monitorizare medicală conectate la domiciliu a sporit, la o rată anuală de 44,4% și au ajuns la 19,1 milioane conexiuni în a. 2018 [128, 261].

Unii autori [100] menționează că, în spitalele din SUA, de la 4% până la 17% de decese au fost cauzate de stop cardiac. Însă, folosind tehnologiile moderne de monitorizarea la distanță ce integrează tehnologii de tipul rețele de senzori fără fir, această pondere a mortalității poate fi diminuată cu până la 70 % [242].

S-a demonstrat că între anii 2010 și 2060, ponderea populației de peste 80 de ani - un grup de vârstă cu cereri medicale ridicate - se va dubla. Ponderea populației în pensionare (peste 65 de ani) se va extinde cu o rată similară, în timp ce ponderea populației în vârstă activă va fi redusă cu zece procente, anume folosirea tehnologiilor moderne de monitorizarea la distanță va

diminua presiunea asupra sistemului medical [124]. Cea mai simplă variantă de telemonitorizare a sănătății prezintă un autocontrol și consultarea cu medicul care se poate realiza atât prin poșta electronică, prin telefon mobil, cât și în regim „on-line” prin Internet [16, 40].

Conform Uniunii Internaționale a Telecomunicațiilor (UIT), în prezent, în lume există aproximativ 6 miliarde de telefoane mobile utilizate de mai mult de 85% din totalul locuitorilor planetei [195].

Popularitatea în continuă creștere a telemedicinii se observă și în rândul companiilor asiguratoare. O mare parte dintre furnizorii de asigurări medicale includ în polițele lor și aceste servicii. Conform companiei Cisco, numărul pacienților tratați prin telemedicină a ajuns la 7 milioane în a. 2018, de la 350,000 în a. 2013, iar valoarea pieței s-a majorat cu 20 de miliarde de dolari, în a. 2019 [75].

Anume domeniile telemonitorizării și telediagnosticului, care au un ritm accelerat de dezvoltare cu impact major în medicină și care furnizează la distanță servicii medicale, poate facilita îmbunătățirea calității vieții pacienților, în special, în cazurile provocărilor cu care se confruntă sistemele de sănătate, pandemia COVID-19, îmbătrânirea populației, stresul, încălzirea globală, proliferarea maladiilor cronice, îngrijirea la domiciliu a persoanelor în vârstă, bolnavii izolați sau cei care se deplasează cu dificultate, deficitul de cadre medicale, repartiția teritorială inegală a serviciilor medicale etc.

1.4. Concluzii la capitolul 1

În urma analizei materialelor expuse în acest capitol putem concluziona:

1. Luând în considerație costul înalt al sistemelor existente de monitorizare intra spitalești, gabaritele ce le fac nepurtabile și faptul că ele sunt destinate, în special, monitorizării afecțiunilor cronice, bolnavilor în vârstă pentru asistența medicală și socială la domiciliu, precum și dezvoltarea sanocreatologiei în scopul creării și menținerii dirijate a sănătății a devenit vizibilă necesitatea creării unui sistem ergonomic și purtabil de monitorizare la distanță a funcțiilor sistemelor fiziologice vitale și a sănătății somato-vegetative, în special pentru zonele rurale, populația cărora se confruntă cu diverse dificultăți la serviciile medicale specializate.
2. Implementarea în viață a sanocreatologiei este dependentă de sistemele de telemonitorizare la distanță a funcțiilor sistemelor fiziologice vitale și a sănătății, ce determină actualitatea și semnificația elaborării și creării noilor sisteme bioingineresti de telecomunicații în scopul realizării obiectivelor formării și menținerii dirijate a sănătății.
3. În Republica Moldova, în ultimii ani, se constată o creștere importantă a utilizării Tehnologiilor Informaționale și de Comunicații în sistemul de sănătate ce necesită

introducerea noilor forme de instruire profesională a medicilor cu utilizarea tehnologiilor informaționale și comunicații.

4. Incidența sporită a maladiilor sistemului cardiovascular și respirator, sporirea bolilor cronice, stresul, îmbătrânirea populației este o provocare pentru sistemul de sănătate, în planul dezvoltării sistemelor de telemonitorizare la distanță a indicilor vitali ce determină sănătatea.
5. Serviciile de telemedicină au adus îmbunătățiri reale și semnificative, atât din punct de vedere al rapidității, siguranței și calității actului medical, cât și din punct de vedere financiar. Serviciile medicale pot fi furnizate oricând, din orice locație, oferind pacienților ajutor rapid, reducând semnificativ costurile administrative.

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

2.1. Indicii funcționali a sistemelor fiziologice vitale cardiovascular și respirator, (FCC) - frecvența contracțiilor cardiace, (FR)- frecvență a respirației, (SpO₂) - saturația oxigenului din sânge, (TA) - tensiunea arterială și temperatura corpului (TC), ca indicatori de monitorizare la distanță, în scopul obținerii informației preventive despre starea funcțională a acestor sisteme și a sănătății relative somato-vegetative.

Posibilitatea utilizării acestor parametri fiziologici, ca indicatori funcționali ai sistemelor vitale cardiovascular și respirator, derivă din faptul că activitatea funcțională a acestora, în plină coordonare, îndeplinesc, de facto, una și aceeași funcție - asigurarea organismului cu substanțe plastice, energetice, minerale și O₂, de aceea, de obicei, în fiziologie se utilizează ca un sistem integru – cardiorespirator, rolul căruia, conform datelor bibliografice, în determinarea vitalității de bază a organismului și activității integrate a acestuia, este incontestabil.

În același timp, vom menționa că, conform investigațiilor Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie [26, 27], a fost stabilit și descris un nou sistem funcțional – cognitiv – emoțional – comportamental de apărare, în componența structurală constitutivă sunt antrenate și sistemele cardiovascular și respirator, sisteme care au un rol hotărâtor în organizarea și efectuarea activității organismului de a se proteja, de a înlătura factorul agresiv, ce influențează asupra organismului și în menținerea homeostaziei morfo-funcționale.

Cele menționate demonstrează necesitatea utilizării parametrilor enumerați în vederea monitorizării la distanță în scopul obținerii informației despre starea funcțională relativă a acestor sisteme preventive a sănătății somato-vegetative.

Faptul că sistemele fiziologice cardiovascular, respirator și temperatura corpului le aparține un rol determinant în asigurarea activității organismului și menținerii sănătății somato-vegetative confirmă prin practica de lucru a fiecărui medic în procesul de diagnosticare a unor sau altor dereglări somato-vegetative, obligatoriu, de a apela la starea funcțională a acestor sisteme.

Deoarece funcționalitatea acestor sisteme se exteriorizează printr-un complex de simptome, o parte dintre care, în prezent, este imposibil de a le transforma în parametri electrici. În studiile noastre ne-am limitat la acei indicatori funcționali ce au conotație electrică, dar care într-o măsură sau alta reflectă adecvat starea fiziologică a sistemelor corespunzătoare și relativ a sănătății somato-vegetative. Și mai mult, indicatorii funcționali menționați anterior, au fost

utilizați pentru a fi telemonitorizați la distanță, deoarece sistemele vitale semnalate mai sus prezintă unele dintre cele mai reactive la influența factorilor mediului ambiant.

Nu întâmplător, valorile funcției cordului, inclusiv a FCC, se utilizează ca unul din indicii ce reflectă nu numai starea funcțională a cordului, dar și a organismului în întregime. Numărul de bătăi de inimă în decurs de un minut, așa numitul puls, indică frecvența, ritmul, tensiunea, umplerea sau intensitatea pulsului.

Frecvența ciclului cardiac este un indicator fiziologic des utilizat în telemonitorizare, deoarece permite o evaluare a stării de sănătate a pacientului, tulburările de ritm cardiac fiind prompt înregistrate, iar fluctuațiile pot fi ușor diferențiate între sanogene/disanogene. În studii și proiecte de cercetare a fost utilizat pacientul, oferind informații despre funcția sistemului cardiovascular. Prelevarea FCC se realizează automat, utilizând des dispozitive care ca metodă de măsurare folosesc pletismografia fotoelectrică la nivelul unei artere periferice [219].

Respirația este o funcție importantă, vitală a organismului uman, care se desfășoară continuu, ciclic și are rolul de a asigura schimbul de gaze dintre organism și aerul din atmosferă. Prin procesul de respirație organismul este asigurat cu O_2 din mediul extern și acesta este furnizat celulelor, iar CO_2 rezultat din metabolismul celular este eliminat în exterior. Cele două componente ale respirației: externă, care reprezintă schimbul de gaze dintre plămâni și atmosferă, și internă sau tisulară care se referă la folosirea oxigenului în reacțiile de oxidoreducere la nivel celular. Cele 2 faze ale ventilației, inspirul și expirul se succed ritmic, cu o frecvență de 12-18 cicluri/minut (frecvența respirației).

Frecvența respirației este un indicator utilizat pentru telemonitorizarea la distanță. Necesitatea determinării frecvenței respirației este reprezentată de posibilitatea identificării unor disfuncții respiratorii sau a unor insuficiențe primare sau secundare a unei alte patologii (afecțiuni cardiace congenitale).

Frecvența respirației reprezintă numărul ciclurilor respiratorii (inspirație și expirație) pe minut și variază în funcție de: –vârstă: nou-născuți = 30 – 45 c/min; copii = 20 – 30 c/min; adulți = 12 – 18 c/min; –sex: femeile au o frecvență mai mare decât bărbații: 15 – 18 c/min; –activitatea fizică.

Pe lângă funcțiile strict fiziologice ale respirației, aceasta joacă un rol important și la capitolul sănătate psihică și emoțională. Un creier neoxigenat corespunzător, nu gândește limpede. De asemenea, un ritm haotic, neregulat, al respirației cauzează anxietate, poate chiar atacuri de panică [219].

Tensiunea arterială este definită ca presiunea hidrostatică exercitată de către sânge asupra arterelor, atunci când ventriculul stâng al inimii se contractă. Tensiunea sistolică este presiunea mai mare, ce se manifestă în urma sistolei (contractie ventriculară), iar tensiunea diastolică este

mai mică și se manifestă în timpul diastolei (relaxare ventriculară). Valorile acestor presiuni în cazul unui adult tânăr sănătos, la repaus, sunt: $TA_{sist} = 110 \text{ mmHg}$ și $TA_{diast} = 70 \text{ mmHg}$.

Tensiunea arterială reprezintă un indicator evaluat des (pe cale non-invazivă), deoarece se face cu ușurință și furnizează date relevante despre activitatea cardiacă. Este un parametru utilizat în diverse sisteme de telemonitorizare, existând pe piață modele de aparate variate folosite la domiciliu pentru prelevarea tensiunii arteriale.

O monitorizare continuă a indicilor tensiunii arteriale oferă date concrete pentru o diagnostică net superioară înregistrărilor realizate ocazional. Mai mult, această înregistrare permite diagnosticarea exactă a tipului de hipertensiune și prescrierea medicației anti hipertensive sau spitalizarea pacientului [219].

Temperatura corpului uman reflectă, în linii generale, intensitatea nivelului metabolic al organismului: majorarea sau micșorarea temperaturii relativ nivelului optim de temperatură – $36,4 - 36,8^\circ\text{C}$ mărturisește despre desfășurarea unor procese patologice acute sau cronice în organism, ce dereglează sănătatea somato - vegetativă. Ea este controlată de o regiune specială a creierului denumită hipotalamus. Hipotalamusul recepționează semnalele: rece și cald de pe suprafața pielii și de la vasele principale de sânge, apoi reglează temperatura internă a corpului la circa 37°C .

Temperatura măsurată a corpului uman depinde de locul de măsurare, intervalul orar și de nivelul de activitate fizică întreprinsă. Chiar și la persoane sănătoase, temperatura internă a corpului nu este constantă pe durata întregii zile, există o fluctuație normală de $0,5^\circ\text{C}$, cu valori mai ridicate între orele (10 – 18) și mai scăzute între orele (2–6) [25]. Mai mulți factori externi pot influența modificarea temperaturii corpului cum ar fi: temperatura mediului, efortul fizic, lichidele calde și reci sau bogate în calorii.

Temperatura internă a corpului se consideră temperatura prezentă în structurile adânci, organe interne cum este ficatul. Această temperatură este menținută astfel încât procesele enzimatice esențiale să poată avea loc. Hipotermia (scăderi a temperaturii sub valori ce nu permit buna funcționare a metabolismului și a organelor corpului) și hipertermia (sporirea semnificativă la 40°C și peste), menținute mai mult decât perioade scurte de timp, sunt amenințătoare asupra vieții [219].

Temperatura corpului este des măsurată de pacienți la domiciliu, în deosebi în cazul unor stări febrile sau a unor stări hipotermice. Cu toate acestea, ea este măsurată sporadic, iar pacienții nu cunosc întotdeauna când este momentul optim de a evalua acest parametru. Monitorizarea temperaturii în raport cu simptomele asociate permite medicului în stabilirea corectă a diagnosticului.

Studierea oxigenării hemoglobinei sângelui indică despre procesele oxidative, în special, despre gradul de hipoxemie, ce provoacă dereglarea sănătății somato - vegetative. Pulsoximetria este o metodă non invazivă de a măsura saturația oxigenului din sânge (SpO_2). Saturația de oxigen este definită ca și cantitatea de oxigen dizolvată în sânge, are la bază detecția hemoglobinei oxigenate și neoxigenate. Saturația oxigenului din sânge (SpO_2) reprezintă un indicator major de oxigenare a sângelui (cantitatea de oxigen legată de hemoglobină în sângele arterial), fiind folosit în monitorizarea cardiovasculară și respiratorie. O multitudine de aparate comercializate realizează concomitent prelevarea SpO_2 și a pulsului [219].

Așadar, din punctul de vedere al prelevării și analizei parametrilor fiziologici, ce reflectă, deși în linii generale și preventiv starea funcțională a sistemelor fiziologice vitale cardiovascular și respirator și a sănătății somato-vegetative, s-a determinat posibilitatea și raționalitatea utilizării ca indicatori de telemonitorizare la distanță a următorilor indici funcționali: ECG, FCC, FR, SpO_2 , TA, și TC.

Aceste sisteme funcționale îndeplinesc un rol determinant nu numai în asigurarea vitalității de bază a organismului în realizarea activității de fiecare zi, dar și în valorificarea reacțiilor emoțional-cognitiv-comportamentale de apărare prin antrenarea filogenetic determinată a acestor sisteme în formarea și menținerea sănătății, prin ce s-a demonstrat necesitatea utilizării parametrilor fiziologici a sistemelor menționate și a temperaturii corpului în vederea monitorizării lor la distanță în scopul obținerii informației despre starea relativă a sănătății într-o organizare operativă de restabilire a homeostazei funcțiilor dereglate și de menținere a nivelului relativ de sănătate.

2.2. Conceptul proiectării prototipului de telemonitorizare

În baza datelor autorilor sanocreatologiei [26, 27, 263, 267] s-a demonstrat privind participarea obligatorie a sistemelor cardiovascular și respirator ca componentă atât a sistemului fiziologic genetic determinat emoțional-cognitiv-comportamental de apărare, ce determină reacțiile organismului de protejare și menținere a integrității structural-funcționale în condițiile influenței factorilor apreciați și conștientizați de subiect ca periculoși pentru sine și alții sau ca obstacole în activitatea de fiecare zi, cât și a sistemelor funcționale ce asigură activitatea operativă și cea vitală de menținere a vitalității organismului prin ce se evidențiază rolul esențial al acestor sisteme fiziologice și în formarea și menținerea sănătății integrale a organismului uman. A fost elaborat un concept, conform căruia telemonitorizarea în continuu la distanță a parametrilor reprezentativi ai sistemelor fiziologice cardiovascular, respirator și temperatura corpului, permite a obține informație veridică despre starea relativă a sănătății.

Ingineria biomedicală ocupă un loc primordial în serviciul asistenței medicale și este una dintre domeniile de inginerie care, în ansamblu, se așteaptă să se dezvolte timp de mulți ani [216]. Realizarea sistemelor telematice performante în îngrijirea sănătății este una din principalele direcții de dezvoltare în medicina mileniului III [177].

Pandemia globală de Covid-19 a accelerat dezvoltarea telemedicinii, astfel că astăzi asistăm la o creștere spectaculoasă a cererii de soluții software pe acest segment. Potrivit unui studiu, în care a fost analizat impactul COVID-19 asupra domeniului software, cheltuielile pe soluții de telemedicină au crescut cu peste 600% mai mult decât până acum [36].

Unul dintre cele mai mari beneficii pentru medicină și, implicit, pentru dezvoltarea telemedicinii în viitor prezintă echipamentele medicale portabile, care conturează trei categorii: cea store-and-forward, cea de monitorizare la distanță și cea de servicii interactive în timp real. Store-and-forward se referă la datele medicale obținute într-un anumit interval de timp, acestea fiind transmise ulterior medicului pentru analiză [7].

Conform scopului și obiectivelor propuse, dar și a tendinței pieței, a fost elaborat un concept referitor la proiectarea unui sistem portabil cu cost redus, care s-a bazat pe structuri constitutive ingineresti, digitale performante, specializate, care achiziționează semnalele biomedicale de la pacient și execută operații de calcul a valorilor, iar în cazul depistării unei situații în care parametri 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.

Conform acestui concept, proiectarea și crearea prototipului de monitorizare la distanță a parametrilor fiziologici s-a efectuat în baza utilizării dispozitivelor specializate în scopul prelevării, achiziționării, execuției operațiilor de calcul al valorilor semnalelor electrofiziologice, transmiterii automate a acestora printr-o rețea wireless către o adresă predefinită și pe senzori digitali și traductoare, grație cărora, semnalele de origine neelectrică se convertesc în mărimi electrice.

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. Pentru a asigura o ergonomie a prototipului, s-a propus de a elabora o brățară care va fi amplasată la nivelul antebrațului. Astfel, persoanele care vor utiliza această brățară, atât în condiții de ambulatoriu, cât și în spital nu va reduce gradul de mobilitate. Parametrii vitali propuși spre monitorizare au fost selectați în funcție de starea sanogenă/disanogenă a organismului, posibilitățile tehnice și financiare.

Pentru a evalua starea sanogenă sau disanogenă a pacientului, au fost prelevați următorii parametri vitali: frecvența ciclului cardiac, saturația oxigenului din sânge (SpO_2), temperatura

corpului, frecvența ciclului respirator, tensiunea arterială (sistolică/diastolică), care pot reda rapid o imagine generală a stării relative a organismului.

Dispozitivul elaborat folosește pentru monitorizarea pacientului, cum s-a menționat anterior, semnale electrofiziologice (ECG, transimpedanță toracică), dar și semnale neelectrice, (temperatura, intensitatea luminoasă, presiunea arterială). Semnalele de origine neelectrică au fost prelevate prin intermediul senzorilor și a traductoarelor care, ca rezultat, convertesc o mărime neelectrică în mărime electrică și poate fi măsurată condiționat.

În baza tipului de semnal biomedical (electric sau neelectric) s-a selectat tipul de biosenzor corespunzător tipului de activitate. Partea de bioinstrumentație se bazează pe senzori digitali care posedă calități superioare astfel se asigură veridicitatea datelor prelevate. 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. Transimpedanța 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 electrocardiogramelor. Metoda aproximează tensiunea arterială sistolică și diastolică exprimată în *mmHg*.

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

„Odată cu introducerea în practica medicală a electrocardiografiei clinice de către medicul olandez Willem Einthoven în a. 1903, s-a marcat o nouă eră în tehnica diagnosticării incluzând și utilizarea electronicii. Electrocardiografia reprezintă metoda de bază în analiza activității electrice a cordului. Din punct de vedere tehnic, ECG reprezintă o înregistrare grafică a modificării potențialelor electrice la nivelul exterior al corpului, datorită proceselor electrice ce au loc la nivelul miocardului, astfel poate fi evaluată structura anatomică și morfologică a inimii” [191].

Dat faptului că posibilitatea culegerii semnalelor are loc la suprafața pielii, pot apărea zgomote și artefacte de semnal care pot influența negativ calitatea semnalului util, datorită mișcării pacientului sau unui contact rău cu pielea. Undele electromagnetice, semnalul din rețeaua de curent alternativ pot avea cuplaj capacitiv cu corpul pacientului inducând astfel zgomote și artefacte [15, 17].

Semnalul ECG s-a prelevat la nivelul pielii cu ajutorul unor electrozi speciali de unică folosință biocompatibili, pe bază de argint/clorură de argint care s-au contactat cu pielea pacientului prin intermediul unui gel conductor medical hipoalergenic. Avantajele unui astfel de tip de electrozi reprezintă o aplicare ușoară pe diferite zone anatomice, sunt bioadezivi, ceea ce permite utilizarea pentru diferite tipuri de piele cu reducerea reacțiilor alergice. Pe larg acest tip de electrozi sunt folosiți în monitorizarea ECG, Holter sau reacției la stres.

Unitatea ECG constă din modulul ECG, electrozi și firele spre pacient. Amplasarea electrozilor este un aspect important datorită faptului că prezintă unghiul de proiecție a activității cardiace, iar linia imaginară care unește 2 electrozi ce înregistrează semnalul ECG se numește derivație. Derivațiile ECG sunt standardizate și sunt reprezentate de 3 categorii principale:

1. Derivații standard sau derivații bipolare, exemplu derivatele DI, DII, DIII. Amplificatorul ECG amplifică diferența semnalelor între mâna dreaptă (RA), mâna stângă (LA) și piciorul stâng (LL). Astfel: $DI = LA - RA$, $DII = LL - RA$, $DIII = LL - LA$. Acești trei electrozi formează un triunghi imaginar denumit triunghiul lui Einthoven [2, 138].
2. Derivații unipolare sunt notate cu aVR, aVL și aVF și reprezintă fluctuații în timp ale potențialelor mâinilor dreapta, stânga și piciorului stâng față de un potențial de referință. Electrocul pozitiv este unul din cei trei electrozi periferici, iar electrocul de referință rezultă prin însumarea potențialelor celorlalți doi. Măsurările amplificate (aVR, aVL și aVF) au amplitudini cu 50% mai mari decât cele normale și se consideră, ca referință, media potențialelor celorlalte două extremități [2, 138].
3. În plan transversal sunt standardizate derivațiile precordiale V1 – V6. Acestea sunt tot unipolare, electrocul explorator fiind amplasat pe torace, în spațiile intercostale, iar potențialul de referință este cel mediu al mâinilor dreapta, stânga și al piciorului stâng [2, 138].

Aceste derivate standardizate reprezintă fiecare o perspectivă diferită despre activitatea electrică a inimii, astfel, fiecare derivată produce o undă în care unda P, complexul QRS și unda T variază după amplitudine și polaritate. Amplitudinea, durata și caracteristicile morfologice pot să varieze semnificativ chiar și la un adult sănătos.

Ciclu cardiac, constă din trei segmente de undă referite ca: unda P, complexul QRS și unda T. Unda P se formează în urma depolarizării atriale și activarea secvențială a celor două

atrii. Complexul QRS se formează datorită depolarizării celor două ventricule, iar unda T reprezintă repolarizarea ventriculară. În cazul unei persoane sănătoase, cele trei componente de undă de bază apar secvențial odată cu fiecare bătaie a inimii [116].

Pentru elaborarea dispozitivului s-a folosit modulul ECG, care se bazează pe un chip ADS1292R produs de Texas Instruments Incorporated, care include toate caracteristicile obișnuite în aplicațiile portabile și instrumentație medicală, telemedicină, electrocardiograme medicale (ECG) portabile, sport și aplicații de fitness. Acestea permit crearea unor sisteme scalabile de instrumente medicale cu o dimensiune, putere și costuri semnificativ reduse.

Modulul ECG este produs de compania Protocentral și se prezintă sub forma unui plăci de cablaj imprimat care conține elemente electronice și soclu de conexiune a firelor spre pacient. Modulul ECG se bazează pe un circuit integrat ADS1292R, special destinat măsurări biopotențialelor cu o rezoluție de 24 de biți, cu un raport de rejecție a semnalului de mod comun de - 120 dB și un raport semnal - zgomot 107 dB. Avantajul sunt dimensiunile, masa redusă și include sisteme de filtrare.

Modulul ECG/impedanță toracică ADS1292R sunt convertitoare analog-digital (ADC) de tip delta-sigma ($\Delta\Sigma$), cu amplificare programabilă (PGA) integrate, cu canale multiple, cu un nivel de cuantificare de 24 biți. Coeficientul de amplificare (PGA) este programabil și poate fi ales una din cele șapte setări (1, 2, 3, 4, 6, 8 și 12). În plus, orice configurație a canalelor de intrare poate fi selectată pentru a fi ca referință și funcționează la rate de conversie de până la 8000 de probe pe secundă [85].

Versiunea ADS1292R include o funcție integrată de măsurare a transimpedanței toracice pentru detectarea mișcărilor respiratorii. Comunicarea între modul și microcontroler este realizată utilizând o interfață sincronă compatibilă standard de mare viteză SPI. 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 [183].

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 [224]. 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. Din valoarea obținută se estimează FCC după formula:

$$FCC = \frac{60}{R-R_n} \quad (2.1)$$

Un aspect important reprezintă existența zgomotelor și artefactelor de mișcare care influențează negativ calitatea datelor preluate. Pentru reducerea artefactelor s-au folosit un acumulator litiu-ion care reduc apariția zgomotului de rețea. Acest prototip nu include algoritm de diagnostic al aritmiilor, a blocului cardiac etc. care este implementat pe electrocardiografe folosite în instituții medicale. Prototipul elaborat afișează pe display frecvența ciclului cardiac la fiecare 4 secunde, astfel putem determina variabilitatea ciclului cardiac care este influențată de activități neurologice (activarea sistemului nervos simpatic și parasimpatic), dar și hormonale. Totodată, un medic cardiolog sau un specialist poate pune un diagnostic primar în cazul necesar, vizualizând forma undei electrocardiografice pe display.

2.4. Metoda de prelevare și analiza a mișcărilor respiratorii cu ajutorul transimpedanței

Respirația este un proces vital continuu și ciclic care are rol de a asigura schimbul de gaze între organism și mediu ambiant, în care oxigenul din mediul extern este furnizat celulelor, iar CO₂ care rezultă în procesele metabolice este eliminat în atmosferă. Mecanica ventilației pulmonare cuprinde două faze, inspirație și expirație care se succed ritmic, cu o frecvență de 12-18 cicluri pe minut. Frecvența respiratorie variază în funcție de:

1. Vârsta: – nou născut = 30-45 r/min; – copii = 20-30 r/min; – adulți = 12-18 r/min.
2. Sex: femeile au o frecvență respiratorie mai ridicată decât bărbații 15-20 r/min.
3. Activitatea fizică: în timpul unui efort fizic intens, frecvența poate fi de 30-40 r/min.

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 se pot 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. Bioimpedanța electrică este o tehnică non invazivă frecvent utilizată pentru a monitoriza activitatea respiratorie a unei persoane.

Impedanța este o proprietate electrică a materialului de a se opune curgerii curentului și depinde de prezența ionilor, celulelor dar și alte componente. Aceasta este determinată de tipul de țesut care poate fi reprezentat de un model de trei componente cu o singură constantă de timp [209].

Pentru modelul electric valoarea impedanței este o variabilă dependentă de frecvență care poate fi calculată folosind ecuația Cole-Cole [209]:

$$Z(f) = R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + (j\omega\tau)^{\alpha}} \quad (2.2)$$

unde: R_0 reprezintă rezistența la frecvența zero, R_{∞} – rezistența la frecvență infinită, τ – constanta de timp și α – coeficient care în dependență de țesuturi poate avea 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 [189]. Matematic valoarea voltajului măsurat se calculează după următoarea expresie [209]:

$$V = Z \times I \sin(\omega t) = R \times I \sin(\omega t) + X \times I \cos(\omega t) \quad (2.3)$$

Semnalul este de obicei injectat cu ajutorul unor electrozi care sunt aplicați pe suprafața toracelui și 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 [97].

La măsurarea respirației, toracele prezintă o impedanță electrică față de electrod, care constă din două componente principale: o componentă relativ constantă și o componentă variabilă. Valoarea relativ constantă a impedanței toracice este menționată drept impedanța de bază și are o mărime de regulă 500Ω [139]. Valoarea variabilă, pe de altă parte, este cunoscută ca impedanță respiratorie sau ΔR .

Modificările rezistenței electrice a plămânilor sunt în principal rezultatul următoarelor două efecte:

1. În timpul inspirației, are loc o sporire a volumului de gaz în cutia toracică în raport cu volumul fluidului; această creștere duce la diminuarea conductivității țesutului.
2. În timpul inspirației, distanța dintre cei doi electrozi crește din cauza expansiunii. Combinația acestor două efecte determină creșterea impedanței electrice.

Există o corelație între această schimbare a impedanței și volumul de aer inspirat sau expirat. Această relație este aproximativ liniară. Componenta variabilă a impedanței generează o componentă de tensiune variabilă (ΔV) atunci când curentul este injectat. În mod tipic, impedanța respiratorie ΔR este în domeniul de la $0,1\Omega$ la 1Ω [88].

Pentru determinarea impedanței toracice s-a utilizat modulul ADS1292R, care cu ajutorul unui circuit intern, injectează prin electrozii ECG un semnal modulat cu frecvența de 32kHz și valoarea curentului de 30μA [85]. 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.

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

Organismul uman necesita un echilibru precis și specific de oxigen în sânge, nivelurile normale de oxigen pentru acesta fiind între 95-100%. Saturația oxigenului din sânge este o estimare a procentajului de hemoglobină oxigenată raportată la cantitatea totală de hemoglobină din sânge.

Toate organele au nevoie de oxigen pentru metabolism și pentru executarea funcțiilor, de aceea este necesar de a alimenta încontinuu cu un aport necesar de oxigen. Deficitul de oxigen este definit ca hipoxie și poate afecta creierul și inima, iar dacă hipoxia durează mai mult de câteva minute poate provoca leziuni tisulare sau deces.

Oxigenul este transportat spre țesuturi sub formă de oxihemoglobină, apoi prin proces de difuzie tisulară este absorbit de către țesuturi. Fiecare gram de hemoglobină poate transporta 1,34 ml de oxigen astfel, la o concentrație normală de hemoglobină, 100 ml de sânge transportă aproximativ 20 ml de oxigen. Globulele roșii conțin hemoglobină care, la rândul său, fiecare moleculă poate transporta până la 4 molecule de oxigen [58].

Metoda non invazivă de determinare a saturației cu oxigen reprezintă pulsoximetria, care se bazează pe caracteristicile de absorbție a radiațiilor de lumină sunt afectate de concentrația celor două elemente: hemoglobina oxigenată și hemoglobina neoxigenată și sunt bazate pe legea Beer-Lambert [90, 91, 225].

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2.4)$$

unde: I – intensitatea fluxului luminos măsurat, I_0 – intensitatea fluxului luminos produs de sursa de lumină, α – coeficientul de absorbție, x – distanța parcursă de fluxul luminos prin țesut.

Pulsoximetria combină spectrofotometria care măsoară concentrația de hemoglobină în sânge și pletismografia optică ce indică schimbările pulsatile în volumul sângelui arterial (schimbările pulsatile în transmiterea luminii prin țesuturi sunt datorate variațiilor de volum sanguin arterial în țesuturi). Singura variabilă este cantitatea de hemoglobină (unda pulsatilă) din patul vascular [108, 176, 213, 218].

Dependența de intensitatea luminii transmise sau inversată poate fi compensată prin utilizarea unei tehnici de normalizare [187], în care componenta alternativă este împărțită de componenta directă.

$$R = \left(\frac{R}{IR} \right) = \left(\frac{\frac{AC_R}{DC_R}}{\frac{AC_{IR}}{DC_{IR}}} \right) \quad (2.5)$$

Raportul R/IR poate fi apoi legat empiric la mărimea SpO₂, când raportul este 1, valoarea SpO₂ este de aproximativ 85% [207].

Sistemul optic pentru măsurarea SpO₂ este format din LED-uri și o fotodiodă sau fototranzistor care recepționează lumina [102]. Există două tipuri de aranjamente optice - prin penetrare și reflectorizant [143].

În primul caz, fotodioda și LED-ul sunt poziționate în planuri diferite, iar zonele de iradiere (cel mai frecvent cu degetul sau lobul urechii) se află între aceste planuri, fotodioda colectează lumina reziduală după absorbția din diferite țesuturi ale corpului. În caz reflectorizant, fotodioda și LED-ul se află pe același plan, iar fotodioda colectează lumina reflectată din diferite adâncimi ale țesutului subcutanat [143, 187].

Fascicolul luminos străbate pielea și este absorbit parțial de hemoglobină din masa de sânge circulant subcutanat. Frațiunea neabsorbită va ajunge prin transmisie sau reflexie la celula fotoreceptor și, în funcție de cantitatea de lumină primită, celula fotoelectrică produce un curent care va fi amplificat și înscris grafic (fotopletismograma).

Variațiile sistolo-diastolice de flux sanguin, din rețeaua cutanată determină variații echivalente ale curentului, iar forma graficului va fi similară cu a pulsului arterial. Unda normală a pulsului normală are o pantă anacrotă abruptă, un vârf ascuțit și o undă dicrotă care este concavă la bază.

Pentru măsurători se utilizează două radiații cu lungimi de undă de 660 nm (lumină roșie) și 880 nm (spectru infraroșu). În infraroșu coeficientul de absorbție al oxihemoglobinei este mai sporit decât al hemoglobinei reduse. [207, 215].

Acuratețea determinării SpO₂ prin metoda pulsoximetriei este redusă în prezența unor afecțiuni ca anemii severe sau a hemoglobinopatiilor, a artefactelor de mișcare, unghiilor acoperite cu lac, sau în absența unui flux arterial pulsatil (hipotensiune, stop cardiac, folosirea concomitentă a manșetei tensiometrului). De asemenea, pot apărea diferențe în ceea ce privește designul probelor folosite la nivelul degetului sau lobului urechii, sensibilitatea traductorului, frecvența de eșantionare, specificațiile de rejectie ale artefactelor și timpul în care se recalculează valoarea medie a saturației cu oxigen. Valorile SpO₂ cuprinse între 95-100%, reflectă o saturație optimă a hemoglobinei cu oxigen, valorile de 94-88% definesc hipoxemia ușoară, cele de 87-83% hipoxemia medie, iar cele mai mici de 83% hipoxemia gravă.

Pentru a monitoriza prin metoda pulsoximetrică, s-a propus de a implementa un modul pe bază de sisteme integrate produse de compania Maxim Integrated Products, Inc. Modulul elaborat se bazează pe chipul MAX30100, care reprezintă un senzor optic integrat de pulsoximetrie. MAX30100 oferă avantajul unui cost și gabarit redus și un număr minimal de componente electronice externe pentru integrarea în circuit.

Sistemul constă din subsistemul de detecție din care face parte sistemul de compensare a luminii ambientale și convertorul analogic digital de tip delta-sigma ($\Delta\Sigma$) cu o rezoluție de 14 biți, subsistemul de monitorizare a temperaturii pentru calibrarea sistemului și subsistemul de dirijare a diodelor electro-luminiscente. Modulul MAX30100 oferă două lungimi de undă, roșu ($\lambda \approx 660\text{nm}$), infraroșu ($\lambda \approx 880\text{nm}$), cu puterea și modularea impulsului programabilă [174].

Comunicarea datelor are loc în baza interfeței I2C sau IIC (Inter-Integrated Circuit) este un tip de magistrală pentru transmisie de date serială master-slave, utilizată intensiv între circuite integrate digitale (microcontrolere, memorii, convertoare). Datele preluate sunt analizate și prelucrate cu ajutorul unui algoritm special după care are loc calcularea saturației și afișarea pe display.

Pulsoximetria prezintă numeroase avantaje: este utilă în orice situație, unde oxigenarea pacientului este instabilă; poate fi folosită pentru a detecta patologii respiratorii sau cardiace; este simplu de folosit și are o importanță critică în medicina de urgență datorită acestui lucru; identificarea și păstrarea unei evidențe constante a semnelor vitale a pacientului într-un caz de urgență oferă medicilor informații prețioase pentru a putea reacționa rapid și precis în tratare; poate fi folosit pentru diagnosticarea tulburărilor de somn, precum apneea.

2.6. Determinarea temperaturii corpului cu ajutorul termometriei

Temperatura corpului este o mărime fizică care reprezintă cantitatea de energie termică într-o substanță sau cât de fierbinte este. Temperatura este un parametru care face parte din evaluarea de bază a semnelor vitale (puls, respirație, presiunea arterială). Împreună cu alți factori vitali poate determina prezența unei patologii sau procese inflamatorii, expunerea la căldură sau frig, reacții adverse la medicație, dar și alte cauze posibile [221].

Totodată, în contextul actualei pandemii de COVID-19, dat fiind faptul că unul din simptome evidente este febra, termometria devine prima linie de apărare în lupta cu acest virus prin distingerea posibilelor persoane infestate. Monitorizarea și reglarea temperaturii corpului are rol important în tratarea pacienților, datorită menținerii homeostaziei și echilibrului termic.

Pentru determinarea temperaturii corpului cu o precizie ridicată sunt folosite metode invazive ca introducerea unui senzor în esofag sau în tractul urinar. Există și metode non invazive care măsoară temperatura la nivelul auricular, bucal, axilă, rect [159].

Temperatura medie a corpului este $36,0^{\circ}\text{C}$, dar sunt variații destul de accentuate pentru măsurările efectuate în diferite locații ale corpului [168]. Temperatura internă este în mod normal mai ridicată decât temperatura corpului la nivelul pielii [197].

Aceasta se datorează structurii anatomice a corpului uman care conține substanțe cu impedanță termică ca stratul adipos, mușchi, piele etc. La nivelul dermei se află organe cu funcții de termoreglare: vase de sânge, glande sebacee, glande sudoripare, mușchiul erector al firului de păr. Vasele de sânge se contractă pentru a menține căldura și se dilată pentru a disipa căldura. Glandele sudoripare evaporază apa pentru a ceda căldura din organism, glanda sebacee previne deshidratarea pielii, iar mușchii erectorului de păr se contractă pentru a reține căldura [144].

Distingem câteva metode de măsurare a temperaturii: metoda directă, metoda predictivă și metoda indirectă. Metoda directă se bazează pe folosirea unui senzor de temperatură sau a unui termometru care intră în contact direct cu corpul, iar după stabilirea echilibrului termic sunt citite datele.

Metoda predictivă detectează gradientul de temperatură, astfel, în momentul contactării, senzorul are temperatura mai mică decât corpul, iar în dependență de cât de fierbinte este corpul, cu atât mai repede se încălzește senzorul. În baza ratei de încălzire a senzorului poate fi extrapolată temperatura corpului [221].

Metoda indirectă se bazează pe măsurarea temperaturii folosind radiația infraroșie emisă de corp. Instrumentele de bază sunt termometrele infraroșii și camera termală [104, 182]. Dezavantajul acestei metode reprezintă imprecizia destul de mare, iar la distanță acuratețea măsurărilor scade [141, 226]. Cea mai ușoară metodă de măsurare a temperaturii este direct pe piele [95].

Pentru elaborarea dispozitivului a fost utilizat senzorul de temperatură MAX30205 cu care a fost măsurată temperatura la nivelul pielii. Modulul bazat pe MAX30205 constă din circuitul electronic de alimentare și circuitul digital de conversie. Modulul MAX30205 conține un senzor integrat de temperatură care împreună cu circuitul de conversie pe 16 biți oferă o rezoluție de $0,00390625^{\circ}\text{C}$. Modulul oferă o acuratețe de măsurare de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ pe intervalul de temperatură $+37\div 39^{\circ}\text{C}$, iar pe intervalul $+35,8\div 37^{\circ}\text{C}$ eroarea nu depășește $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ [175].

Temperatura se măsoară la fiecare 4 secunde datele sub formă digitală sunt transmise către unitatea centrală care afișează rezultatul pe display. Unul din aspecte este că temperatura se măsoară la nivelul antebrăului, astfel, temperatura poate fi mai mică datorită interferențelor exterioare sau a diferenței de temperatură în senzor. Senzorul măsoară temperatura pielii cu care are contact direct, la nivelul antebrăului.

2.7. Determinarea tensiunii arteriale

Tensiunea arterială reprezintă presiunea exercitată de sângele circulant pe suprafața pereților vaselor de sânge [212]. Afecțiunea care se caracterizează prin tensiunea ridicată a sângelui se numește hipertensiune și definește un risc crescut a atacului de cord sau atac cerebral datorat formării anevrismelor [119]. O tensiune sistolică de 120 mmHg și o tensiune diastolică de 80 mmHg este considerată o tensiune normală. Conform datelor prezentate de OMS, numărul de persoane care prezintă simptome de hipertensiune în a. 2008 a fost de 1 miliard și va crește la 1,5 miliarde până în anul 2025 [149, 238].

Tensiune arterială este un indicator evaluat des, cu ușurință și care oferă date informative asupra activității cardiace. O monitorizare continuă a valorilor tensiunii arteriale permite de a stabili un diagnostic corect net superior evaluărilor realizate ocazional, cea ce oferă tratament corect sau spitalizare la timp. Parametrii ce caracterizează tensiunea arterială sunt:

1. Tensiunea arterială sistolică (TA_{sist}) – reprezintă valoarea maximă a presiunii în cursul unui ciclu cardiac, corespunzând sistolei ventriculare;
2. Tensiunea arterială diastolică (TA_{diast}) – reprezintă valoarea minimă în cadrul unui ciclu cardiac, corespunzând diastolei ventriculare;
3. Tensiunea arterială medie (TA_{medie}) – reprezintă presiunea medie pentru care s-ar realiza același debit circulator, dacă curgerea sângelui ar fi continuă și nu pulsatilă. Tensiunea efectivă poate fi aproximată cu relația (2.6.) [152]:

$$TA_{medie} = TA_{diast} + \left(\frac{TA_{diast} + TA_{sist}}{3} \right) \quad (2.6)$$

Metodele non invazive de determinare a tensiunii arteriale sunt: metoda palapatorie (Riva-Rocci) măsoară numai tensiunea sistolică. Se decomprimă lent manșeta, până când se simte prima pulsație în șanțul arterei radiale, valoarea tensiunii arteriale maxime este vizualizată la manometru. Valoarea tensiunii sistolice este cu ~5-10 mmHg mai mică decât valoarea reală. Metoda este rapidă, însă nu poate determina și tensiunea diastolică.

Metoda ascultatorie (Korotkov) se efectuează cu ajutorul stetoscopului care se plasează în pliul cotului, la decomprimarea lentă a manșetei apar zgomote. Aceste zgomote se datorează circulației turbulente a sângelui prin vas și se numesc zgomotele lui Korotkov. S-a evaluat dacă există o diferență între tensiunea arterială măsurată prin metoda Riva-Rocci sau Korotkov (sfigmomanometru cu mercur) comparativ cu monitorizarea continuă a tensiunii arteriale ambulatorii (dispozitiv Space Labs 90207). S-a stabilit că folosirea unui sfigmomanometru cu mercur, ar putea fi interpretată greșit [94].

Metoda oscilometrică este una indirectă care se utilizează la măsurarea presiunii arteriale medii bazată pe următorul principiu, oscilațiile presiunii în manșetă, datorată pulsației volumului

arterial, au o amplitudine maximă atunci când presiunea în manșetă este apropiată de tensiunea arterială medie. Măsurarea tensiunii arteriale prin metoda oscilometrică are posibilitatea de a fi automatizată, astfel încât metoda oscilometrică devine mult mai practică în comparație cu metoda auditivă [94].

Metoda de evaluare a tensiunii arteriale PTT (Pulse Transit Time – timpul de tranzit a pulsului) [240] poate fi utilizată pentru a estima non invaziv variațiile tensiunii arteriale, în mod continuu, fără utilizarea unei manșete. Prima abordare pentru măsurarea PTT se bazează pe semnalele electrocardiografei și fotopletismografiei [101]. Una dintre metodele utilizate frecvent este calcularea diferenței de timp între anumiți parametri caracteristici ai semnalului ECG și semnalul PPG într-un ciclu de impuls [103, 160, 163, 173].

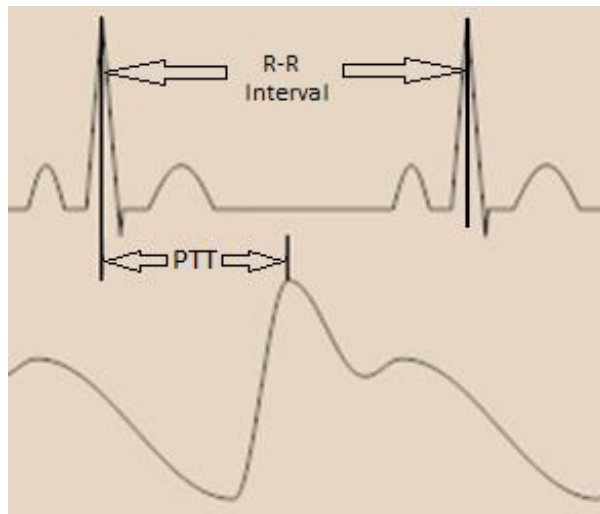


Fig. 2.1. Determinarea PTT cu ajutorul ECG și PPG

Corelația dintre PTT 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:

$$PWV = \frac{L}{PTT} = \sqrt{\frac{gtE}{\rho d}} \quad (2.7)$$

unde d – reprezintă diametrul arterei, E – modulul Young, ρ – densitatea sângelui, t – grosimea peretelui, g – constanta gravitațională [150, 205]. Elasticitatea pereților vaselor este variabilă în timp și este dependentă de tensiunea arterială după ecuația:

$$E = E_0 e^{\alpha \tau} \quad (2.8)$$

unde E_0 – reprezintă modulul elasticității la presiunea zero, α – constantă, valoarea căreia este cuprinsă între 0,016 și 0,018, τ – tensiunea arterială din vasul de sânge. Pe baza celor 2 ecuații expuse se pot obține tensiunea arterială după ecuația [93]:

$$PWV = \sqrt{\frac{gtE_0 e^{\alpha \tau}}{\rho d}} \quad (2.9)$$

Relația dintre tensiunea arterială și PTT este redată în ecuația de mai jos:

$$TA = \frac{1}{\alpha} \left[\ln \left(\frac{L^2 d\rho}{E_0 t} \right) - 2 \ln(PTT) \right] \quad (2.10)$$

Datorită schimbărilor reduse al PTT în raport cu tensiunea arterială, ecuația poate fi aproximată ca o dependență liniară după expresia:

$$TA = -A(PTT) + B \quad (2.11)$$

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 [93]. În urma calculării regresiei liniare se poate determina tensiunea arterială [220].

Pentru extragerea PTT s-a folosit modulul ECG ADS1292R și modulul SpO₂ 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 PTT.

Examinarea amănunțită a indicilor fiziologici pentru telemonitorizare la distanță, tehnicilor și metodelor de prelevare, achiziționare, analiză a semnalelor fiziologice electrice, de conversiune a semnalelor funcțiilor de origine neelectrică, de vizualizare și transmitere la distanță denotă originalitatea prototipului. În același timp vom menționa că sistemele telematice avansate în îngrijirea sănătății este una din direcțiile importante de dezvoltare în medicina mileniului III, iar dispozitivele portabile reprezintă unul dintre cele mai mari beneficii pentru medicină și, implicit, pentru dezvoltarea telemedicinii, pentru sanocreatologie, medicina în viitor [7].

Așadar, aprecierea și crearea prototipului s-a bazat pe tehnologii de telemonitorizare la distanță, dispozitive ce conțin senzori digitali, module cu sisteme integrate cu calități superioare, prin ce s-a asigurat achiziționarea semnalelor biomedicale de la pacient și executarea operațiilor de calcul a valorilor, iar în cazul depistării unei situații în care parametri sunt în afara limitelor sanogene, generează un semnal de alarmă, precum și transmiterea automat fără fir cu ajutorul unei rețele wireless către o adresă predefinită. Pentru a asigura o ergonomie, s-a propus de a elabora o brățară care va fi amplasată la nivelul antebrațului, care atât în condiții de ambulatoriu, cât și în spital nu va reduce gradul de mobilitate. Parametri vitali propuși spre monitorizare au fost selectați în funcție de starea sanogenă/disanogenă a organismului, posibilități tehnice și financiare.

Dispozitivul monitorizează nu numai semnale electrofiziologice (ECG, transimpedanță toracică) de origine electrică dar și semnale neelectrice (temperatura, intensitatea luminoasă) care sunt prelevate prin intermediul senzorilor și traductoarelor ce convertesc o mărime

neelectrică în mărime electrică, fiind măsurată condiționat. În baza tipului de semnal biomedical (electric sau neelectric) s-a selectat tipul de biosenzor corespunzător tipului de activitate. Partea de bioinstrumentație se bazează pe senzori digitali care posedă calități superioare, astfel, se asigură veridicitatea datelor prelevate.

Cercetările s-au efectuat în cadrul Laboratorului Fiziologia stresului, adaptării și Sanocreatologie generală al Institutului de Fiziologie și Sanocreatologie și în cadrul Spitalului Serviciul Medical al Ministerului Afacerilor Interne, în anii 2016 – 2020. În scopul determinării stării sanogene a sistemului cardiorespirator, s-au prelevat de la 10 de persoane indici reprezentativi (ECG) electrocardiograma, (FCC) frecvența contracțiilor cardiace, (FR) frecvența respirației, (SpO₂) saturația oxigenului din sânge, (TA) tensiunea arterială, (TC) temperatura corpului), care au servit ca componente ai unui modul de telemonitorizare a stării sănătății integrale a organismului.

2.8. Concluzii la capitolul II

1. Parametri fiziologici ai sistemelor vitale cardiovascular și respirator FCC, FR, SpO₂, TA și TC, ce reflectă, deși relativ și preventiv, starea funcțională a acestor sisteme și a stării sănătății somato-vegetative, au fost identificați ca indicatori funcționali de monitorizare la distanță în scopul obținerii informației preventive despre starea funcțională a acestor sisteme și a sănătății somato-vegetative.

2. Arhitectura selectării și îmbinării elementelor constitutive ale prototipului portabil de telemonitorizare la distanță a unor parametri fiziologici (ECG, FCC, FR, SpO₂, TA, TC) a fost elaborată în baza unor semnale a funcțiilor sistemelor fiziologice vitale – cardiovascular și respirator, ce reflectă starea funcțională preventivă a sistemelor corespunzătoare și relativă a sănătății somato-vegetative, unor noi tehnici și metode, dispozitive, module și sisteme integrate, senzori digitali, traductori de ultima producere a companiilor specializate, cu calități superioare, ce asigură veridicitatea achiziționării, executării operațiilor de calcul al valorilor parametrilor, vizualizarea și transmiterea automată fără fir a datelor, cu ajutorul unei rețele wireless, către o adresă predefinită.

3. O componentă constitutivă esențială a prototipului alcătuiește modulul ECG, ce reprezintă o placă de cablaj imprimat cu masă redusă, care conține elemente electronice și soclu de conexiune a firelor spre pacient și se bazează pe un circuit integral ADS1292R, destinat măsurării biopotențialelor cu o rezoluție de 24 biți, cu un raport de rejecție a semnalului: de mod comun de 120 dB și un raport semnal-zgomot 107 dB și sisteme de filtrare digitale. Pentru înlăturarea zgomotului a fost elaborat un algoritm, ce prevede colectarea unui masiv de date, care este supus procedurii de filtrare digitală.

4. Metoda de prelevare a mișcărilor respiratorii cu ajutorul transimpedanței toracice se bazează pe modulul ADS1292R, care printr-un circuit intern injectează prin electrozi ECG un semnal modulat cu frecvență de 32 kHz și valoarea curentului de 30 μ A și recepționează semnalul, filtrează și deduce valoarea impedanței, apoi datele sunt comunicate spre unitatea centrală de procesare prin interfața SPI, iar metoda de analiza a frecvenței, amplitudinii și ritmicitatea respiratorii se bazează pe un algoritm de calcul al pneumogramei mișcărilor respiratorii, care prezintă o înregistrare grafică în formă de o pantă ascendentă mai rapidă, ce reflectă procesul activ de inspirație și o pantă descendentă mai lentă, prezentând procesul pasiv de expirație.

5. Monitorizarea saturației oxigenului din sânge prin metoda pulsoximetrică s-a realizat prin utilizarea unui modul pe bază de sisteme integrate produse de compania Maxim Integrated Products, Inc., în special pe chipul MAX30100, care reprezintă un senzor optic integrat de pulsoximetrie și oferă avantajul unui cost și gabarit redus a unui număr minimal de componente electronice externe pentru integrarea în circuit.

6. Temperatura se determină prin studierea radiației infraroșie emisă de corp la nivelul pielii, utilizând modulul de temperatură MAX30205, ce constă din circuitul electronic de alimentare și circuitul digital de conversie și conține un senzor integrat de temperatură, care împreună cu circuitul de conversie pe 16 biți oferă o rezoluție de 0.00390625°C și o acuratețe de măsurare de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ pe intervalul de temperatură $+37\div 39^\circ\text{C}$, iar pe intervalul $+35,8\div 37^\circ\text{C}$ eroarea nu depășește $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Datele sub formă digitală sunt transmise către unitatea centrală care afișează rezultatul pe display.

7. Metoda de estimare a presiunii arteriale PTT (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 PTT.

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 ingineresti constitutive ale prototipului

Pe parcursul ultimilor ani în Republica Moldova se constată o creștere importantă a utilizării Tehnologiilor Informaționale și de Comunicații în sistemul de sănătate. Prin implementarea și utilizarea telemedicinii, Republica Moldova va efectua un pas important spre realizarea dreptului omului la servicii de sănătate calitative și la momentul potrivit [34, 35].

Datorită potențialei aplicări în medicină, sport și aplicații militare, sistemelor de monitorizare la distanță a semnelor vitale le revine un interes practic din ce în ce mai important în ultimul deceniu.

A fost elaborat un concept al creării unui prototip bioingineresc mobil de monitorizare la distanță a sistemelor vitale: cardiovascular, respirator și relativ a sănătății somato-vegetative, conform căruia colectarea, prelucrarea, extragerea informațiilor din semnele biomedicale și transmiterea lor la distanță să se realizeze în baza metodologiei bioingineresti digitale și din conținutul dispozitivelor electronice, senzori, traductori și sisteme înglobate adecvate, performante, specializate, cu un conținut redus de instrucțiuni, care ar reflecta adecvat, preventiv, starea funcțională a sistemelor corespunzătoare și relativ a stării sănătății somato-vegetative.

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

Rezultatele procesării datelor, prelevate în raport cu anumite limite sanogene, au apreciat starea subiectului astfel: dacă sunt depășite anumite praguri, se vor genera diferite alarme locale de a întrerupe modul de activitate și de a efectua măsuri de revitalizare a funcțiilor corespunzătoare. În cazuri majore aceste alarme vor fi transmise la centrul de monitorizare, pentru a întreprinde investigații complexe în scopul diagnosticării suplimentare a activității funcționale a sistemelor ce au un rol esențial în menținerea sănătății somato-vegetative și a întreprinde acțiuni corespunzătoare.

Prelucrarea datelor prelevate de la pacient s-au folosit pentru elaborarea statisticilor în scopul organizării activității de prevenții precocă a transformării dereglărilor funcționale în dereglări cronice și restabilirii stării sănătății somato-vegetative.

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.).

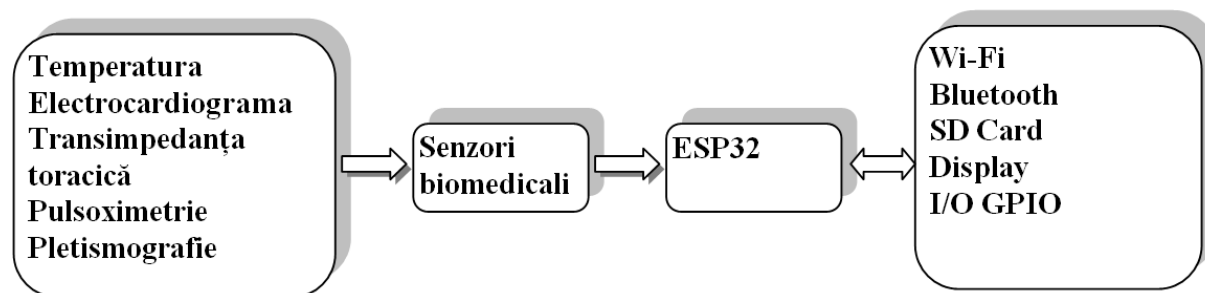


Fig. 3.1. Arhitectura complexului de monitorizare a sistemelor cardiovascular și respirator

Achiziționarea semnalelor biomedicale s-a realizat pe un sistem cu arhitectură SoC (în engleză System-on-a-Chip) care se definește ca un sistem 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, care 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.

Pentru realizarea prototipului s-a folosit placa de dezvoltare TTGO TM, bazată pe microcontroler ESP32, care oferă un display de 2,4 inch cu rezoluția de 320×240 pixeli. Funcția de bază a acestui nod este primirea și prelucrarea informației și realizarea interfeței grafice cu utilizatorul, permite de a vizualiza semnalele achiziționate și valorile numerice a parametrilor vitali. Interfața grafică se bazează pe driver-ul grafic ST7789V cu ajutorul protocolului de comunicare SPI.

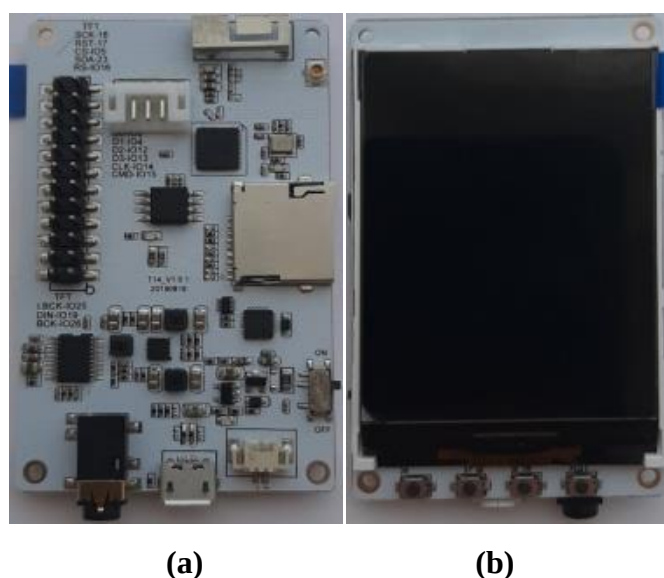


Fig. 3.2. Aspectul general al plăcii de dezvoltare TTGO TM. (a) - partea verso, (b) - ecranul

Placa de dezvoltare conține 29 de pini intrare/ieșire (unii cu funcție specială de ex. comunicare I2C), ecran LCD, soclu pentru card Micro SD, antena pentru comunicare Wi-Fi și Bluetooth. Specificațiile tehnice ale microcontrolerului ESP32 sunt: frecvența de tact: 240 MHz, numărul de nuclee: 2 nuclee Xtensa LX6, memorie SRAM 520KiB, memorie ROM 448KiB, 4 interfețe SPI, 2 interfețe I2C, alimentare: de la 2,3V la 3,6V și altele (fig.3.2).

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 rata respiratorie. Avantajul acestei arhitecturi reprezintă un consum și volume reduse, de aceea ea este pe larg recomandată de a fi utilizată în dispozitive portabile. Placa de dezvoltare TTGO TM este proiectată pentru aplicații mobile, poate fi alimentată cu ajutorul unei baterii reîncărcabile Li-Ion sau Li-Po pentru aplicații wireless.

Pentru programare s-a folosit platforma open-source Arduino, care reprezintă un mediu integrat de dezvoltare (IDE) creat în baza limbajului JAVA. Arduino IDE se bazează pe limbajul de programare C/C++, oferă suport pentru mai multe clase de dispozitive, ceea ce este un avantaj în realizarea proiectului. 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 a fost proiectat sub formă de brățară care se atașează la nivelul antebrățului, astfel se asigură o mobilitate și informare bună a pacientului în condiții ambulatorii, dar și spitalicești. Datorită faptului că placa de dezvoltare necesită un număr impunător de conexiuni cu fiecare din senzori, ceea ce este un aspect tehnic important, este necesar de a interconecta un număr mare de fire, care pot induce zgomote și artefacte a biosemnalelor, ceea ce poate reduce eficiența prototipului.

A fost adoptată soluția tehnică de a realiza un circuit electronic sub formă de placă cu cablaj imprimat, care are funcția de interconectarea a tuturor componentelor cât mai compact. Un circuit imprimat este un cablaj prefabricat în care legăturile conductoare între componentele discrete sunt realizate sub formă de benzi sau suprafețe conductoare, depuse pe un suport izolant.

Actualmente, utilizarea circuitelor imprimate constituie soluția tehnică cea mai performantă și mai răspândită de interconectare a componentelor în circuite electrice și echipamente electronice. Din punct de vedere ergonomic, acesta oferă un nivel de integrare destul de înalt, astfel, dispozitivul poate fi comod de purtat de către pacient, dar și oferă un anumit grad de libertate în activitățile cotidiene ale utilizatorului. Materialul folosit la crearea circuitului imprimat este FR4 cu grosimea de 1,6 mm standard Tg 140°C cu strat dublu de cupru.

Printre avantajele utilizării circuitelor imprimate vom menționa următoarele:

- ✓ Densitate crescută de elemente montate;
- ✓ Reducerea volumului și masei echipamentelor electronice;
- ✓ Asigurarea rezistenței mecanice și chimice (rezistența la oxidare) a circuitului;
- ✓ Simplificarea procesului de asamblare;
- ✓ Fiabilitate și costuri reduse.

Această placă de bază a fost proiectată reieșind din specificațiile tehnice ale tuturor modulelor care alcătuiesc acest dispozitiv și, drept urmare, a fost trimisă spre realizare companiei JLCPCB (Shenzhen JLC Electronics Co., Ltd. China).

În prima etapă a proiectării s-a determinat poziția și amplasarea modulelor pe placa de bază în raport cu stratul dublu respectând ca porturile de conectare și alte noduri să fie accesibile spre exterior. Unul din instrumente folosit în acest scop a fost aplicația EasyEDA, care reprezintă o aplicație CAD (proiectare asistată de calculator) freeware ce permite de a elabora diverse circuite electronice și cablaje imprimate.

Programul elaborării și creării sistemului conține toate instrumentele necesare proiectării, dar și o multitudine de biblioteci cu elemente electronice care pot fi implementate. Cablajul imprimat s-a realizat în câteva etape, care începe cu proiectarea schemei electronice a dispozitivului (fig.3.3.).

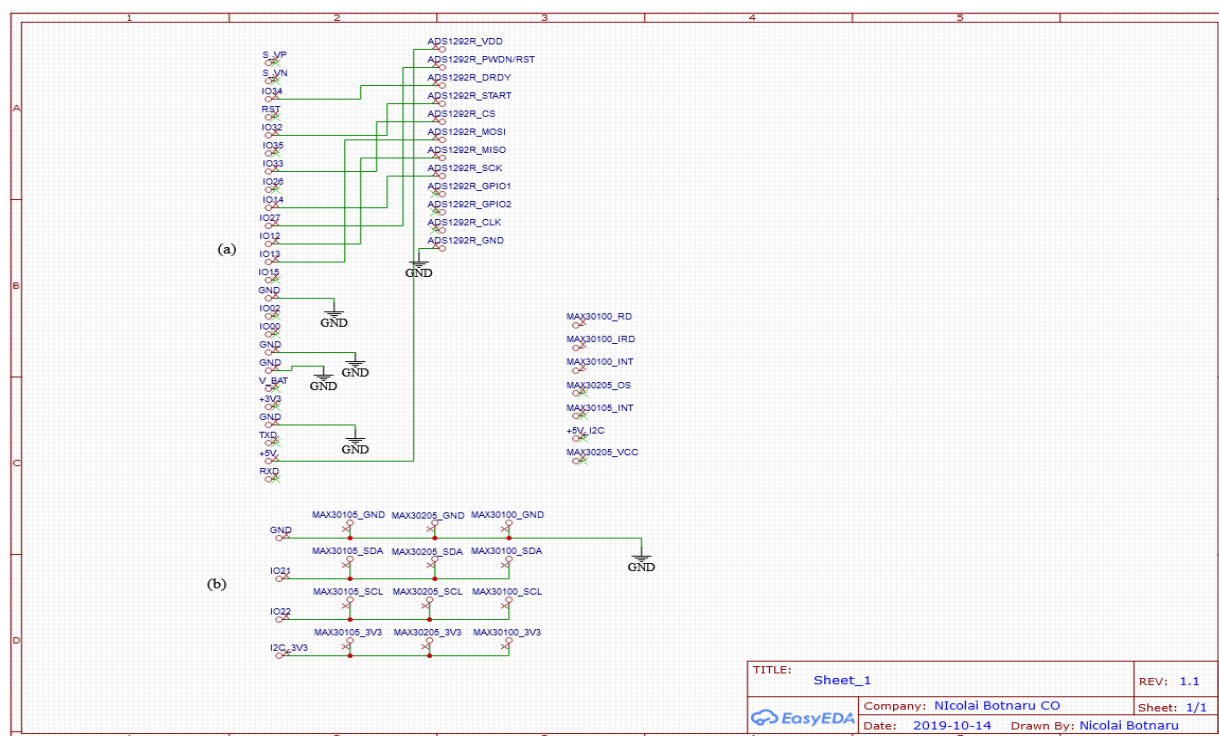


Fig. 3.3. Realizarea schemei electrice (orig.)

(a) - conexiunile electrice ale modului ADS1292R; (b) - conexiunile electrice pentru interfața I2C (modulul MAX30205 și MAX30100)

În etapa următoare s-a proiectat placajul imprimat conform schemei electronice (fig.3.4.).
Elaborarea cablajului s-a efectuat în câteva etape descrise mai jos:

1. Transpunerea schemei electronice a circuitului în format electronic, folosind software specializat de proiectare;
2. Stabilirea granițelor externe a plăcii;
3. Alinierea și plasarea tuturor pinilor (pentru ambele fețe);
4. Alinierea modulelor pe suprafață;
5. Realizarea conexiunilor conform specificațiilor tehnice pe ambele suprafețe;
6. Transpunerea traseelor de cupru spre realizarea conexiunilor între componente.

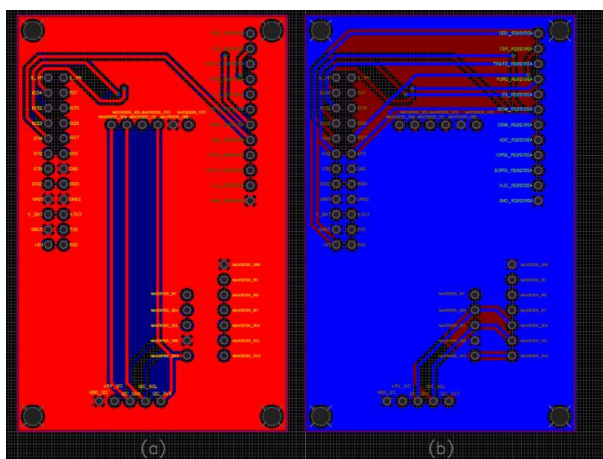


Fig. 3.4. Proiectarea cablajului imprimat în EasyEDA (orig.)

(a) - partea anterioară și (b) - verso

Proiectul a fost expediat companiei JLPCB în formatul GERBER spre a fi executat. Circuitul imprimat a fost realizat cu mărimea 69×44 de mm cu metalizarea găurilor de montare, astfel s-a obținut o eficacitate și o calitate a lipirii mai bună în timpul asamblării componentelor pe placă. De asemenea, datorită metalizării, s-a asigurat un contact electric între straturi, dar și o fixare mai calitativă a terminalelor.

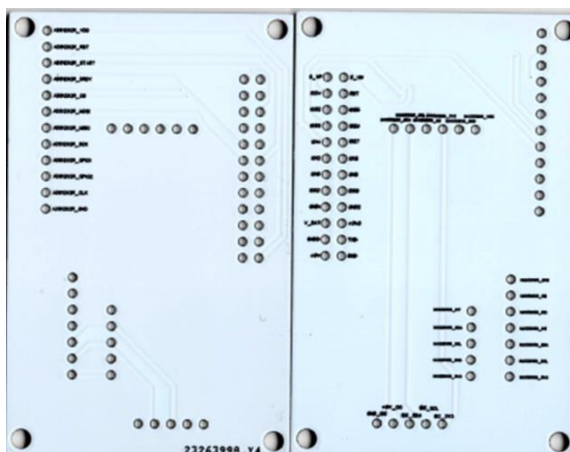


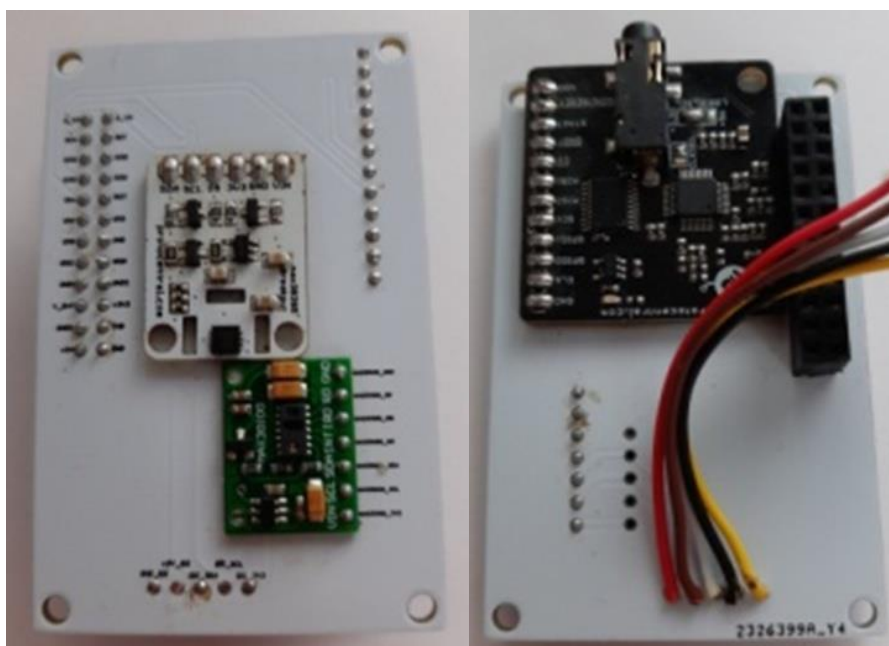
Fig. 3.5. Aspectul general al circuitului imprimat (orig.)

Circuitul imprimat conține și o mască de protecție care reprezintă un strat de polimeri aplicat pe suprafața cablajului imprimat, cu rol de protecție a structurilor conductoare împotriva oxidării (fig. 3.5.). Ulterior s-a efectuat lipirea pinilor de contact pentru a realiza interfațarea modulelor cu microcontrolerul ESP32 și asamblarea finală.

Placa de bază s-a asamblat cu modulul TTGO TM după schema sandwich, pinii de contact se aliniază, în rezultat, s-a obținut o structură mai compactă. Toate conexiunile au fost realizate cu fludor 60/40, temperatura de topire 160 °C, diametru 1mm cu flux CF-10. Procesul de lipire a componentelor electronice a fost efectuat cu ajutorul unei stații de lipire LUKEY 852+FAN setată la 333 °C și flux neutru ЛТИ-120, ce asigură o difuzie bună a aliajului de lipit. După asamblare, s-au curățat suprafețele de flux sau depunerile rămase în timpul lipirii, folosind o perie și alcool etilic concentrat sau alcool izopropilic.

Modulul de achiziționarea MAX30100 și MAX30205 se află pe partea externă, fiindcă este necesar un contact fizic cu pielea pacientului. Modulul ADS1292R se află pe partea internă cu soclul orientat lateral pentru a asigura accesul pentru conectarea electrozilor. Pe partea internă se plasează un element important, un acumulator Li-Ion cu tensiunea nominală de 3,7V și capacitatea de 1 Ah care, va alimenta cu energie dispozitivul.

Modulul integrează un microcontroler dedicat reîncărcării bateriei și alt microcontroler, ca convertor de tensiune pentru alimentarea modulului. După operațiunile efectuate s-a elaborat aspectul general al plăcii de bază (fig. 3.6.).



(a)

(b)

Fig. 3.6. Partea de bioinstrumentație asamblată (orig.)

(a) - modulele MAX30100 și MAX30205. (b) - modulul ADS1292R

Modulele s-au interconectat cu ajutorul protocolului I2C, prin firele conectate cu ajutorul unui soclu special la portul de comunicare I2C al plăcii de dezvoltare TTGO TM. Soclul lateral cu conectori în dublă linie are rol de comunicare și alimentare a modului ECG ADS1292R. Cu ajutorul interfeței SPI s-a realizat preluarea datelor și setarea modulelor interne.

Asamblarea s-a efectuat prin interconectarea fizică a pinilor sub formă de sandwich, astfel se asigură un montaj compact (fig.3.7.).

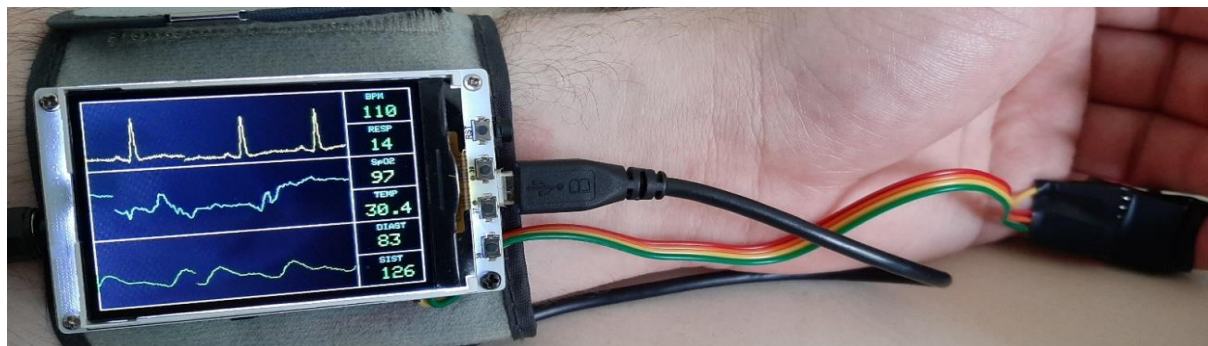


Fig. 3.7. Aspectul fizic finalizat al prototipului (orig.)

Prototipul realizat posedă toate proprietățile caracteristice unui dispozitiv wearable (portativ) și anume gabarit și greutate redusă, poate fi utilizat ca accesoriu. Important este faptul că persoana care folosește 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.

Un aspect important reprezintă implementarea circuitelor integrate de tip AFE (Analog Front End), care oferă avantajul unui cost redus de proiectare și asamblare, astfel produsul final a devenit accesibil din punct de vedere financiar unor categorii mai diversificate ale populației, componenta constitutivă a căruia (sisteme înglobate, senzori, traductori etc.) asigură achiziționarea, procesarea, monitorizarea, vizualizarea indicatorilor fiziologici plus algoritm special de calculare a unor parametri.

Așadar, atât studiile interdisciplinare în fiziologie și bioinginerie privind identificarea unor parametri fiziologici ca indicatori ai activității funcționale ale sistemelor cardiovascular și respirator și a temperaturii corpului uman, cât și principiile și metodologiile bioingineriei în vederea conceperii și elaborării unui dispozitiv de supraveghere (prototip) automată a acestora, au permis de a crea un sistem original de monitorizare la distanță a valorilor unor indici fiziologici. La fel, a apărut posibilitatea de a urmări și caracteriza în dinamică și la distanță modificările funcționale ale acestor sisteme și relativ a sănătății somato-vegetative ale organismului și de a întreprinde activități operative de recuperare a valorilor dereglate.

3.2. Adaptarea subsistemului de achiziție a activității cardiace și respiratorii

În ultimele decenii, se observă o creștere alarmantă a bolilor cardiovasculare, una dintre principalele cauze de deces la nivel global. Din cauza faptului că nu sunt depistate/identificate la timp dereglările funcționale cardiovasculare, acestea obțin conotație patogenă și pot provoca AVC sau alte afecțiuni cardiace.

Analiza parametrilor fiziologici a activității funcționale ale sistemelor cardiovascular și respirator, prin prisma reflectării reprezentative a stării lor funcționale și relativ a stării sănătății somato-vegetative, atât în scopul evidențierii influenței factorilor mediului ambiant asupra proceselor vitale de bază și activități operative de fiecare zi, cât și a elaborării măsurilor ce ar asigura menținerea sănătății somato-vegetative, prezintă o activitate ce se înscrie în măsurile operative ale sanocreatologului. În același timp, prelevarea și monitorizarea acestor parametri în funcție de indicatori, va crea rapid o imagine generală a stării funcționale a acestor sisteme și relative a sănătății somato-vegetative în dinamică.

Indiscutabil că dezvoltarea dispozitivelor medicale pentru monitorizarea sănătății este un domeniu de cercetare cu o argumentare sporită, datorită cererii progresive pe piață în scopul dezvoltării și inovării serviciilor de îngrijire a sănătății.

Adaptarea subsistemului de achiziție a parametrilor corespunzători a fost realizată în baza circuitelor integrate, modulelor specializate, destinate pentru achiziționare, produse și furnizate de companii specializate integrate astfel, ca monitorizarea să nu creeze probleme utilizatorului în efectuarea activității sale de fiecare zi.

Modulul ECG din componența prototipului elaborat se bazează pe un circuit integrat ADS1292R, special destinat măsurării biopotențialelor cu o rezoluție de 24 de biți. Modulul ADS1292R a fost furnizat de compania Protocentral LTD. Microcipul ADS1292R, care face parte din categoria de circuite AFE (analog front-end) reprezintă circuite integrate special destinate pentru achiziționarea și condiționarea semnalelor electrofiziologice, cu gabarite reduse și consum redus de energie, pentru aplicații miniaturizate, portabile cu costuri reduse pentru realizare.

Versiunea ADS1292R a inclus o funcție integrată de măsurare a impedanței respirației. Metoda folosește doi electrozi din care un electrod are rol de a injecta curent alternativ de frecvență înaltă, iar al doilea are rol de receptor, care stabilește diferența de tensiune. Acești electrozi detectează modificările electrice care apar în activitatea electrofiziologică a mușchiului inimii în timpul fiecărei depolarizări și repolarizări.

ADS1292R reprezintă două amplificatoare de bioinstrumentație cu coeficientul de amplificare programabil, un raport de rejecție a semnalului de mod comun de minus 120 dB și un raport semnal-zgomot de 107 dB. Amplificatorul are banda de frecvență de 8,5kHz și o

impedanță de intrare de 100 M Ω , tensiunea de lucru constituie 2,7÷5,25V. Convertorul analogic-digital de tip delta-sigma ($\Delta\Sigma$) cuprinde rate de transfer a datelor până la 8000 de eșantioane pe secundă. Circuitul integrat ADS1292R conține filtre interne RC, care au rol de filtrare a interferențelor electromagnetice pentru fiecare canal în parte. Banda de frecvență a filtrului este de aproximativ 3MHz.

Modulul s-a amplasat pe partea verso a plăcii cu soclul de 3,5 mm spre partea laterală. În conectorul respectiv s-a introdus un conector audio de 3,5mm de la care pleacă spre pacient 3 fire cu diverse culori: roșu, albastru și, respectiv, negru. Firele spre pacient au la capete conectoare specializate pentru electrozii ECG de unică folosință. Electrozii de unică folosință pot fi atât sterili, cât și nesterili, pe bază de spumă, conector Ag/AgCl cu hidrogel solid pentru o bună conductibilitate la nivelul electrod-piele. Impedanța ridicată se datorează faptului că pielea uscată reprezintă un izolator, iar pentru a stabili o conexiune bună este necesar de a folosi gel.

O altă problemă des întâlnită este stratul de aer dintre electrod și piele sau prezența firelor de păr care pot spori impedanța, de aceea se recomandă ca preventiv suprafața unde se vor aplica electrozii să fie prelucrată cu alcool sau, dacă este necesar, epilarea. Aceasta este necesar atât pentru a avea un semnal bun, cât și pentru detectarea unor deconectări ai electrozilor. Avantajele unui astfel de tip de electrozi reprezintă o aplicare ușoară pe diferite zone anatomice, sunt bioadezivi, ceea ce permite utilizarea pentru diferite tipuri de piele, cu reducerea reacțiilor alergice. Pe larg, acest tip de electrozi sunt folosiți în monitorizarea ECG, Holter. Electrozii s-au aplicat pe corpul pacientului după schema din fig. 3.8.

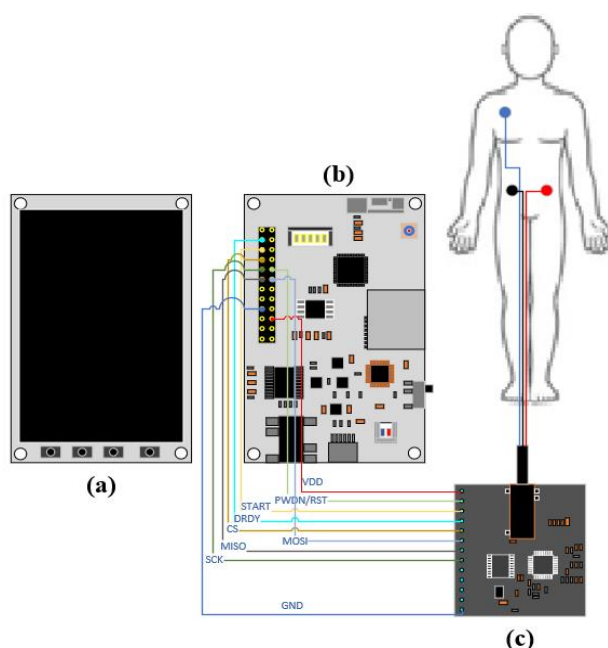


Fig. 3.8. Schema electrică de conectare a electrozilor și modul de amplasare a lor.

(a) - ecranul modulului TTGO TM; (b) - conexiunile electrice ale modulului TTGO TM;

(c) - modulul de achiziție a semnalului ECG ADS1292R;

Din punct de vedere bioelectric, colectarea semnalului are loc după principiul: un electrod activ față de alt electrod activ. În cazul dat, se explorează activitatea electrică a cordului în plan frontal, prin cele două puncte situate la distanță egală. Totodată, pentru a asigura o detecție bună a variației rezistenței cutiei toracice, electrozii s-au amplasat pe diagonală imaginară a toracelui.

Datorită faptului că proiecția maximală pe triunghiul Einthoven are derivata II, anume aceasta a fost selectată pentru culegerea semnalului ECG de către modulul ADS1292R. Derivata II este folosită în cardiologie pentru determinarea tulburărilor de ritm și a variabilității FCC.

Comunicarea între microcontroler și ADS1292R are loc prin interfața SPI și constă din 4 semnale: CS, SCLK, DIN și DOUT. Semnalul DRDY este folosit ca indicator când datele sunt prelevate, iar dacă semnalul este nivel logic zero, atunci este disponibilă o altă serie de date. Pentru realizarea comunicării între microcontroler și ADS1292R s-au integrat bibliotecile necesare, care răspund de configurările registrelor și controlul modulelor interne.

Biblioteca este o versiune modificată a variantei open-source, publicată pe Github.com. În timpul inițierii modulului este transmis un pachet de date, care conține setările registrelor, apoi are loc comanda de citire a datelor. Fiecare registru dispune de o anumită adresă și funcții specifice, care sunt expuse în pașaportul tehnic al circuitului ADS1292R. Pentru a înscrie registrele, sunt folosite comenzi specifice de citire sau înscriere a registrului. Pentru proiectul dat s-au implementat următoarele setări ale registrelor:

Primul registru *CONFIG1* configurează la nivel global ambele canale ADC. S-au setat două valori, prima constituie modul de conversie, iar a doua – frecvența de eșantionare. Pentru valoarea 0x00 s-a stabilit un regim continuu de conversie, iar rata de eșantionare – 125 de eșantioane pe secundă.

Registru *CONFIG2* a setat valoarea de referință de 2,42V și oprește semnalul de test. Canalul I are coeficientul de amplificare 4, iar canalul II - 12. Pentru circuitul RLD a fost setat canalul II cu banda de frecvență $f_{MOD}/16$. Măsurarea impedanței s-a efectuat prin pornirea subcircuitului de modulare și demodulare, cu un defazaj de 135°. Frecvența semnalului injectat pentru măsurarea transimpedanței s-a setat la o frecvență de 32 kHz. Semnalul DRDY este folosit ca indicator de sincronizare a datelor preluate de pe modulul ADS1292R și MAX30100.

Pentru programarea circuitului ADS1292R a fost realizat un program codificat în limbajul C, care răspunde de comunicarea datelor și prelucrarea lor. Programul a fost realizat în mediul de dezvoltare Arduino IDE. La prima etapă s-au introdus bibliotecile necesare, declararea variabilelor și constantelor, crearea subrutinelor, dar și altele. Pentru inițierea modulului ADS1292R s-a inițializat comunicarea SPI și s-au atribuit pinii de control și comunicare. Datorită faptului că registrul a fost configurat la 125 de eșantioane pe secundă, pinul de control DRDY modifică starea sa la fiecare 8 milisecunde, moment în care are loc citirea datelor.

Datele preluate sunt stocate într-un buffer de date în următoarea formă: 24 de biți de stare + 24 de biți unda de respirație + 24 de biți unda ECG. Următoarea etapă constă în separarea pachetului de date în 4 biți + 4 biți pentru unda ECG și respectiv respiratorie. Datele sunt separate, apoi are loc procedura de filtrare digitală cu ajutorul unui filtru trece-jos de 40 Hz.

Procedura de filtrare se realizează cu ajutorul unui filtru IIR (Infinite Impulse Response) de ordinul I. Filtrele IIR sunt mai rapide ca filtrele de tip FIR (Finite Impulse Response), necesită mai puțină memorie și mai puțini coeficienți de calcul. Filtrul IIR reprezintă un filtru digital, la care ieșirea este dependentă de valorile de ieșire anterioare și valorile de intrare anterioare și curente. Din punct de vedere al funcției de transfer, acest tip de filtre sunt asemănătoare cu filtre analogice RC. Expresia generală pentru ieșirea unui filtru IIR de ordinul n este:

$$y(n) = \sum_{k=0}^n \alpha(k)\gamma(k) - \sum_{k=1}^n \beta(k)\delta(k) \quad (3.1)$$

unde $y(n)$ reprezintă valoarea filtrată; n – ordinul filtrului digital; $\alpha, \beta, \delta, \gamma$ – coeficienți de filtrare; (k) – valoare de intrare.

Valoarea filtrată a semnalului este păstrată în buffer, care este mai departe folosită pentru detectarea segmentului QRS. Bufferul de filtrare constituie un vector de 250 de valori, astfel, semnalul este preluat și prelucrat pentru o fereastră de timp de 2 secunde la 125 de eșantioane/sec. Procedura de filtrare este urmată de detectarea segmentului QRS. Segmentul QRS s-a determinat în mai multe etape și subrutine, care include calculul valorilor de prag adaptive, detectarea maximei și minimului și alte operații. Valoarea calculată a ritmului cardiac se afișează pe ecranul dispozitivului în momentul calculării mediei aritmetice pentru 10 secunde. În funcție de condiții, frecvența ciclului cardiac poate reda informații despre starea sistemului cardiac.

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.

S-a propus ca valorile marginale care vor declanșa o alarmă să fie valorile mai mici de 60 de bătăi pe minut, care indică bradicardie și valorile peste 120 de bătăi pe minut, ce prezintă un indicator al tahicardiei.

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 (tab.3.1.).

Tabelul 3.1. Frecvența ciclului cardiac determinată pe două dispozitive, prototip și MAC2000

Subiectul	Vârsta (ani)	Sex	Greutate (kg)	Înălțime (cm)	Tensiune arterială (mmHg)	Frecvența respirației (resp/min)	Valorile FCC Prototip (BPM)	Valorile FCC MAC2000 (BPM)
I	30	M	100	168	115/72	12	51	51
							49	48
							52	53
							52	54
							56	55
II	30	M	103	182	135/88	14	78	79
							80	78
							74	76
							76	74
							72	72
III	69	M	86	173	199/127	14	68	68
							65	64
							70	69
							70	68
							69	68
IV	57	M	85	172	124/81	12	69	68
							66	67
							66	65
							66	66
							68	66
V	58	M	100	178	128/80	12	68	67
							67	69
							69	68
							68	68
							68	70
VI	61	M	92	175	165/93	14	80	81
							83	82
							82	80
							84	82
							82	82
VII	53	M	90	173	138/89	14	80	78
							79	81
							80	80
							81	79
							78	80
VIII	66	M	78	174	146/90	14	82	81
							83	81
							82	82
							83	83
							81	83
IX	43	F	70	170	110/70	12	64	65
							66	64
							65	66
							64	66
							65	64
X	49	M	115	190	120/80	14	64	66
							63	65
							64	65
							66	66
							65	64

Metodologia de testare este următoarea: subiectul se plasează în poziție orizontală, se fixează electrozii pe membre și torace, în paralel, se atașează și electrozii care sunt conectați cu prototipul. Preventiv s-a măsurat tensiunea arterială cu ajutorul unui tonometru automat Microlife, iar datele s-au introdus în memoria electrocardiografului MAC2000. Datele prelevate s-au înscris în jurnal cu o perioadă de 1-2 minute, astfel, s-a determinat variabilitatea datelor prelevate cu ajutorul prototipului elaborat față de datele indicate de electrocardiograf (fig.3.9.).



Fig. 3.9. Validarea datelor ECG (orig.)

(a) - afișarea undei ECG (a), (b) - testarea prototipului pe voluntar, (c) - GE MAC 2000

Pe display, în primul cadran se afișează unda activității electrice a inimii, iar în al doilea cadran se afișează curba mișcărilor cutiei toracice. Astfel, la inspirație graficul se deplasează în sus, iar la expirație – respectiv în jos.

Chiar dacă avem o singură derivată a electrocardiogramei, se poate determina vizual, de către specialist, prezența unor dereglări electrice sau de altă natură, analizând graficul redat pe ecranul prototipului. Cu ajutorul detectorului segmentului QRS și a fotopletismografiei s-a determinat valoarea timpului de propagare a undei sistolice de la inimă până la senzor, pentru estimare tensiunii arteriale.

Unda ECG poate fi afectată de mișcare și factori tehnici (calitatea contactului, tipul de electrozi, calitatea prelucrării locului de fixare a electrozilor). Astfel, la mișcare avem apariția artefactelor de mișcare, care influențează negativ asupra algoritmului de detecție a segmentului QRS. Afișarea undei ECG are loc în primul cadran, cu linia izoelectrică situată implicit la 70 de pixeli pe verticală. Din cauza instabilității, semnalului a fost necesar de a introduce un algoritm de filtrare pentru a reduce impactul artefactelor de mișcare.

Pentru semnalul respirator a fost adoptată aceeași tehnică, cu anumite particularități. Unda ECG afișată pe display conține toate elementele morfologice, astfel se poate distinge unda P, complexul QRS, unda T. S-a implementat un algoritm de netezire a undei ECG, pentru a o delimita de alte cadrane, o vizualizare bună și a evita suprapunerea graficului.

Datele ECG și respirației sunt stocate în două masive de date, fiecare din ele conțin 250 de valori. În momentul când are loc colectarea tuturor valorilor se extrage valoarea maximă și minimă și se calculează valoarea de prag, care este egală cu trei pătrimi din diapazonul de la

minim la maxim. Valoarea de prag adaptivă se calculează de fiecare dată când masivul de date se suplinește, datorită faptului că pentru o secundă avem 125 de eșantioane, iar pentru 250 de pixeli avem 2 secunde pentru umplerea masivului de date. Deci, de fiecare dată când are loc trecerea valorilor de prag, are loc contorizarea numărului de eșantioane până la următorul episod, astfel, se află media tuturor intervalelor *R-R* și, ca urmare, se obține frecvența cardiacă. În timpul detectării segmentului QRS s-a introdus o fereastră de timp pentru a împiedica valorile fals pozitive de circa 40 de eșantioane, astfel frecvența maxim detectabilă este de aproximativ 185 de bătăi pe minut.

Din cauză că corpul pacientului are cuplaj capacitiv, dar și sursele de unde electromagnetice, are loc interferarea semnalelor care afectează negativ sistemul. Aceasta se întâmplă în cazul unei izolări perfecte, unde nu există cuplaj între pământ și masa subsistemului ECG, sistemul va avea un CMRR foarte mare (peste 100 dB). O sursă principală este zgomotul de rețea de 50Hz ce provine din rețeaua electrică de alimentare, dar și de la alte surse, ca exemplu lămpile fluorescente. În afară de aceasta, semnalul ECG poate conține artefacte de mișcare sau semnale de excitație de la pacemaker.

O proprietate a modului ADS1292R reprezintă inversarea semnalului, în caz că semnalul trece de valoarea minimă sau maximă a diapazonului de voltaj, măsurile sunt luate în modul, ulterior sunt prelucrate. Sistemul integrează, de asemenea, posibilitatea de detecție a semnalului ECG (lead-off), care injectează un semnal prin RLD (right-leg-drive) cu frecvența de 512 kHz. Acest semnal, în cazul când are loc o rupere a firelor sau o creștere esențială a impedanței țesut-electrod, excită direct intrarea amplificatorului sau ADC-ului, iar utilizând un comparator de tensiune, poate genera un semnal de alertă care avertizează că există un contact electric cu impedanță crescută. Folosind tehnica RLD cu buclă, se poate reduce zgomotele prin amplificarea diferenței de tensiune la ieșirea amplificatorului programabil. Un alt impact reprezintă sporirea performanțelor prin mărirea coeficientului de rejecție de mod comun.

Prototipul creat nu este un dispozitiv medical, dar este o soluție tehnică complementară a echipamentelor utilizate în medicină. Dispozitivul nu are capacitatea de a înlocui echipamentul folosit în instituțiile medicale, dar poate contribui la stabilirea diagnosticului, prevenirea și managementul BCV. Prototipul realizat monitorizează activitatea funcțională și semnele vitale, în timp ce utilizatorul efectuează acțiunile cotidiene zi de zi. Astfel, se duce o evidență pe termen lung a activității cardiace, ceea ce poate oferi o diagnosticare mai precisă.

Conform obiectivelor propuse, s-a evaluat variația medie, deviația și eroarea a 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 acurateții este de aproximativ 98,2%, ceea ce indică că algoritmul prototipului elaborat detectează destul de corect frecvența ciclurilor cardiace.

Pentru reprezentarea variabilității frecvenței ciclului cardiac 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 (fig.3.10.).

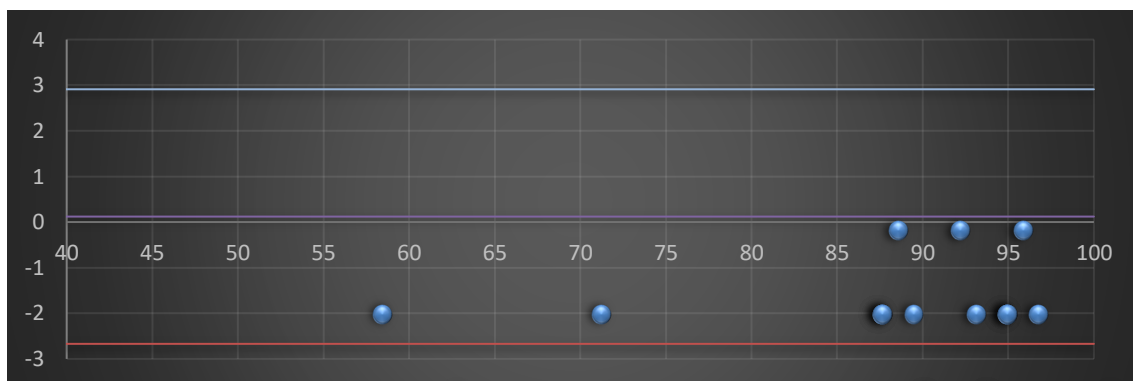


Fig. 3.10. Variabilitatea frecvenței ciclului cardiac

Cele două extreme reprezintă valorile de limite, care sunt egale cu media generală $\pm 1,96 \times$ deviația standard. Valoarea 1,96 se atribuie pentru un grad de certitudine de 95% în cazul unei distribuții Gauss(valoarea indică aria care ocupă 95% sub o curbă de distribuție normală).

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. Totodată, s-a calculat valoarea medie a FCC pentru 5 măsurători, efectuate pe 10 subiecți, cu ajutorul prototipului elaborat, în comparație cu datele prelevate cu ajutorul electrocardiografului MAC2000 (fig.3.11.).

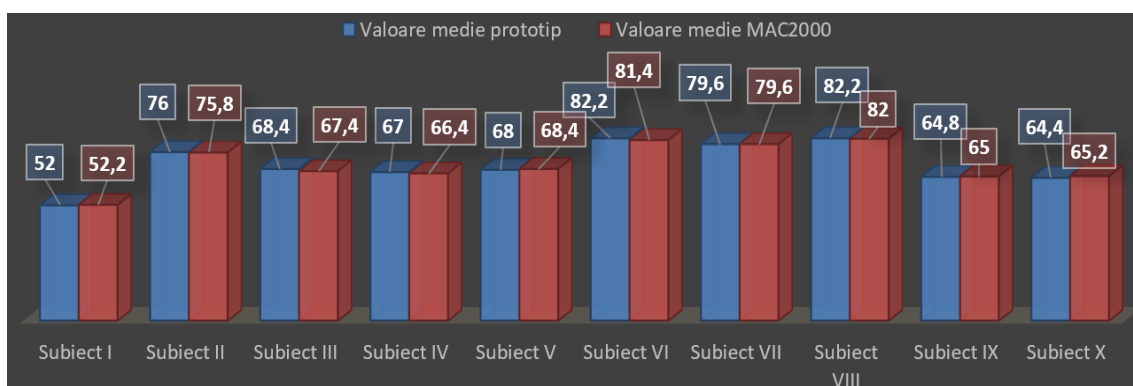


Fig. 3.11. Valorile medii a frecvenței ciclului cardiac

Așadar, 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 $\pm 0,4$ bătăi pe minut. Această diferență se află în limitele de eroare ± 3 bătăi pe minut, valori standard pentru electrocardiograf.

Astfel, algoritmul de detecție a segmentului QRS Pan-Tompkins, implementat pe prototip, asigură o performanță ridicată a sistemului de achiziție a ECG și o precizie ridicată a calculului frecvenței cardiace, indispensabilă pentru evaluarea sanogenității sistemului cardiac, în comparație cu programul specializat Marquette 12SL de pe electrocardiograful MAC 2000, produs de compania General Electric. Pentru a confirma veridicitatea rezultatelor, a fost determinată corelația dintre valorile FCC, determinate cu ajutorul prototipului în comparație cu ECG MAC2000 (fig. 3.12.). În rezultatul analizei datelor obținute, s-a stabilit că corelația între cele două variabile este liniară.

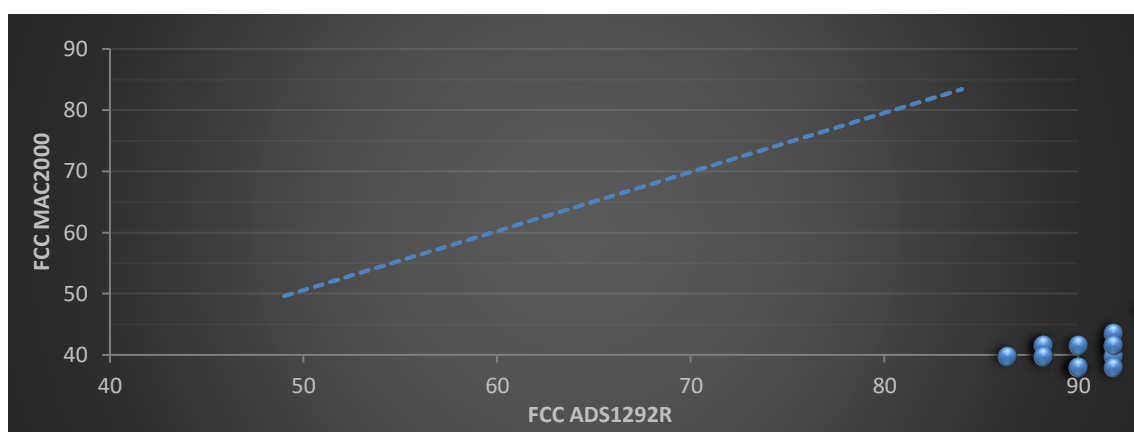


Fig. 3.12. Corelația dintre frecvența ciclului cardiac determinată cu prototip și MAC2000

Următoarea etapă a fost de a stabili frecvența și amplitudinea mișcărilor cutiei toracice. Mișcările respiratorii sunt detectate cu ajutorul tehnologiei măsurări ale transimpedanței toracice. În momentul inspirației sau expirației, are loc variația volumului de lichid, conductibilitatea țesutului și, ca urmare, are loc schimbarea rezistenței electrice.

Prin măsurarea rezistenței, s-a creat graficul evoluției impedanței sub forma de pnemogramă din care ulterior se extrage numărul de cicluri inspirație – expirație. Astfel se calculează frecvența respiratorie. Pentru măsurarea impedanței s-a folosit circuitul integrat ADS1292R, care are încorporat circuitul de detecție a respirației. Principiul de funcționare se bazează pe injectarea unui curent de valoare mică și frecvență înaltă și măsurarea voltajului la nivelul țesutului.

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. Este demonstrat, că numărul de respirații depinde de mulți factori ca – sex, vârstă, greutate (gradul de obezitate), faza somnului (REM sau non-REM), dar și alți factori.

Pentru monitoarele de pacient care sunt utilizate în instituțiile medicale această valoare a impedanței variază de la 0,1 ohmi până la 5 ohmi. Electrozii de prelevare a semnalului electrocardiografic injectează curentul și detectează variația rezistenței circuitului. În timpul

inspirației, datorită măririi volumului de aer, în raport cu volumul de lichid, are loc o descreștere a conductibilității, iar distanța între cei 2 electrozi devine mai mare, astfel, are loc modificarea impedanței.

Componenta variabilă la injectarea unui curent generează o variație a tensiunii, care este citită de un convertor analogic-digital și este determinată impedanța cutiei toracice. De obicei, variația impedanței se afla în limitele $0,1\Omega \div 1\Omega$, dar depinde de valoarea curentului injectat. Pentru o frecvență de 10 kHz valoarea maximă a curentului nu trebuie să depășească $100\ \mu A$. La frecvențe mai mici, valoare curentului va fi de asemenea, mai mică. Pentru modulul ADS1292R, valorile curentului injectat sunt $30\ \mu A$ și o frecvență de 32 kHz.

Curentul este injectat prin electrozii ECG astfel: se reduce numărul de componente necesare monitorizării respirației. Datele sunt transmise către microcontroler, unde sunt analizate. Înregistrarea mișcărilor respiratorii permite obținerea pneumografiei, cu o pantă ascendentă, care reprezintă inspirația și o pantă descendentă, reprezentând expirația (fig.3.13).



Fig. 3.13. Pneumograma prelevată prin măsurarea impedanței toracice (orig.)

(a) - semnalul ECG, (b) - pneumograma, (c) - fotopletismograma, (d) - valoarea FCC, (e) - valoarea frecvenței respirației, (f) - saturația oxigenului din sânge, (g) - temperatura.

Procesul de determinare a frecvenței respiratorii are loc la colectarea a 250 de valori și se măsoară în respirații pe minut, iar valoarea numerică a numărului de respirații pe minut este afișată pe display. Unda pneumografiei se află în cadranul II, cu linia de referință la 135 de pixeli pe verticală (fig. 3.13.). Semnalul dat are o valoare foarte mică și conține foarte multe zgomote, care influențează negativ semnalul util. Un impact și mai puternic are artefactele de mișcare care generează uneori date aleatorii. Raportul dintre durata pantei inspirației și cea a expirației este variabil și depinde de gradul efortului fizic. În timpul repausului, raportul dintre faza de inspirație și expirație este aproximativ egală. La efectuarea unui efort de intensitate medie, are loc modificarea fazelor de inspirație și expirație. Astfel, expirația are o durată de timp mai mare, iar raportul t_{inspir}/t_{expir} poate fi egal cu cca 5:6, 4:5, 3:4, unde perioada de expirație este mai lungă față de inspirație.

Odată cu creșterea frecvenței respirației, datorită unei activități intense, are loc reducerea timpului pentru fiecare ciclu cardiac și expirația devine mai bruscă și mai rapidă, cu un raport de 3:2, ceea ce permite reducerea timpului pentru fiecare ciclu. Există o legătură directă între frecvența și profunzimea respirației, astfel, în cazul unei tahipneei acute, are loc reducerea profunzimii respirației, care poate constitui până la 30% din capacitatea respiratorie. Pe panta descendentă se observă o porțiune inițială, mai rapidă, indicând revenirea peretelui cutiei toracice la poziția de repaus și o a doua porțiune mai lentă, reprezentând rețracția pulmonară.

Cu ajutorul pneumografiei se pot analiza: frecvența, amplitudinea și ritmul respirației, precum și variațiile care apar în diferite situații fiziologice ca: efort fizic, somn sau situații disanogene ca: apneea de somn, monitorizarea pacienților cronici. Pneumograma nu oferă informații despre volumul de gaz din plămâni sau debitul de aer inspirat/expirat. De asemenea, nu se poate cuantifica cu ajutorul unei pneumograme, gradul de afectare a plămânilor în cazul unor afecțiuni. Pentru aceasta există metode și echipamente speciale, care sunt specifice și pot fi utilizate doar în cadrul instituțiilor medicale.

Datorită faptului că cele două unde au alocate un anumit diapazon de pixeli, acestea nu pot fi afișate direct în forma primară, de aceea valorile au fost scalate în diapazonul convenit. Fluxul de date are 125 de eșantioane pe secundă, ceea ce duce la încărcarea bufferului timp de 2 secunde. Frecvența respirației la adult în mod normal este de circa 15-18 respirații pe minut și doar procesul de inspirație durează circa 2 secunde, iar cel de expirație este un pic mai lung, fereastra de timp de 2-5 secunde, afișată pe display, este inacceptabilă pentru a vizualiza forma de undă, dar și determinarea frecvenței respirației. Un procedeu de adaptare folosit pentru acest prototip a fost scăderea numărului de eșantioane care sunt introduse în bufferul de date. Astfel, pe display sunt afișate de 15 ori mai puține valori cu un factor de scalare de 0,25, cu o fereastră de timp de 30 secunde, care deja permite atât vizualizarea unei respirații, cât și calcularea frecvenței. Valoarea de prag pentru calculare a fost luată în cazul dat 0,5 din diferența minim, minus maxim, datorită faptului că forma unei unde nu este atât de abruptă și are așa numitul platou, care în unele cazuri coincide cu linia de referință. La următoarea etapă s-a efectuat extragerea frecvenței respirației din graficul pneumogramei, folosind următorul algoritm. Matricea 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 adaptiv. 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, iar pentru calcularea numărului de respirații pe minut, se înmulțește la doi. Placa de bază realizează interconexiunile cu modulul de procesare prin pinii respectivi după cum este indicat în figura 3.8. Un pas important reprezintă setarea registrelor interne ale modulului ADS1292R, care răspund de

configurația ADC, regimul de lucru, frecvența de eșantionare și altele. Toate operațiile de setare au loc cu ajutorul bibliotecilor special realizate pentru acest modul. Astfel are loc inițializarea și setarea registrelor interne, după care datele sunt recepționate cu o frecvență de 125 de eșantioane pe secundă.

În scopul determinării corectitudinii algoritmului de calcul a frecvenței respirației, s-au realizat o serie de comparații a datelor obținute prin spirometrul Spirobank II Advanced și prototipul creat. Spirometria este metodă folosită pentru a diagnostica sau a monitoriza unele afecțiuni pulmonare. În funcție de vârstă, înălțime, sex și etnie, există un interval în care valorile sunt considerate normale pentru vârsta și înălțimea subiectului testat. Acești coeficienți sunt predefiniți în programul spirometrului. Spirometrul măsoară volumul aerului cu ajutorul unui senzor de flux, care este integrat în piesa bucală de unică folosință, care nu necesită calibrare.

Procedura este non invazivă, investigația subiectului se efectuează în poziția așezat pe scaun, iar pe nas se plasează o clipsă nazală pentru a nu permite inhalarea sau expirația pe nas. Pacientului i se atașează electrozii ECG cu ajutorul cărora se prelevează variația transimpedanței și astfel, pe display prototipului se afișează graficul pneumogramei.

În figura 3.14. este reprezentat graficul pneumogramei, preluate cu ajutorul prototipului elaborat și cu ajutorul spirometrului, de unde s-a stabilit că pneumograma captată cu ajutorul spirometrului (i), coincide cu graficul pneumogramei (b) prelevate de prototipul elaborat, iar numărul de respirații pe minut coincide cu numărul de vârfuri din cele două grafice.

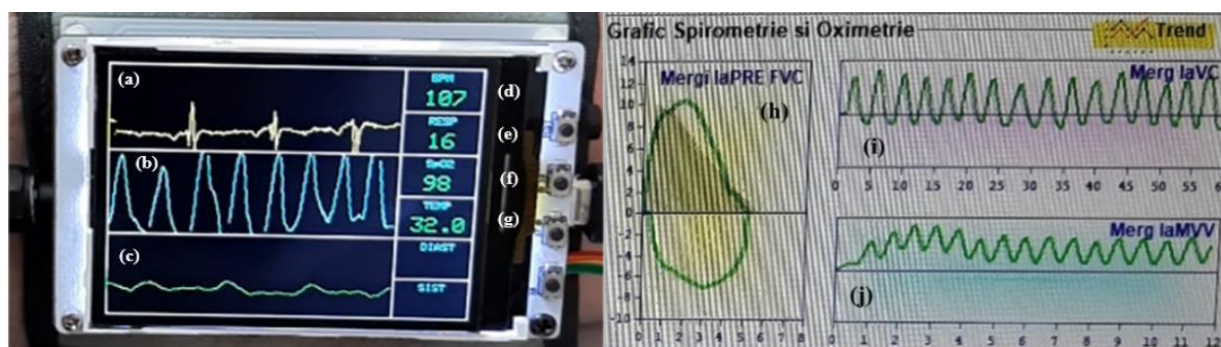


Fig. 3.14. Comparația graficului variația fluxului de aer cu transimpedanța toracică (orig.)
(a) - semnalul ECG, (b) - pneumograma, (c) - fotopletismograma, (d) - valoarea FCC, (e) -
valoarea frecvenței respirației, (f) - saturația oxigenului din sânge, (g) - temperatura
corporală, (h) - diagrama curbei debit/volum, (i) - pneumograma în regim normal,
(j) - pneumograma în regim forțat

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. În tabelul 3.2. sunt introduse datele calculate cu ajutorul prototipului și datele determinate din spirometria captată cu ajutorul spirometrului Spirobank.

Tabelul 3.2. Compararea rezultatelor obținute cu ajutorul spirometriei și transimpedanței

Subiectul	Vârsta (ani)	Sex	Greutate (kg)	Înălțime (cm)	FR Spirobank (resp/min)	FR Spirobank (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.

Pentru a ilustra veridicitatea rezultatelor obținute cu ajutorul prototipului și a spirometrului, s-a elaborat graficul dependenței valorilor frecvenței respiratorii, comparând cele două metode utilizate (fig. 3.15).

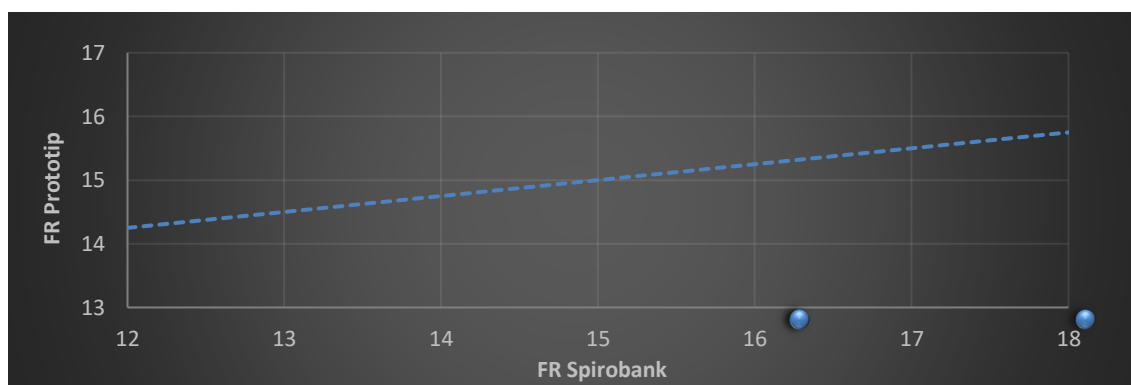


Fig. 3.15. Dependența dintre frecvența respirației, determinată cu ajutorul celor două dispozitive

Din datele experimentale obținute, s-a stabilit o dependență aproximativ liniară dintre cele două echipamente utilizate. Pentru a nu declanșa o valoare fals pozitivă de hiperhipoventilare, algoritmul calculează valorile pentru fiecare 30 de secunde, iar, dacă valorile depășesc limitele sanogene pentru o perioadă predeterminată, are loc declanșarea unei alarme.

Valorile SpO_2 , care sunt sub limita de 93%, chiar dacă are loc o ventilare mecanică normală, pot fi efectul altor afecțiuni, care nu sunt legate de sistemul respirator. Astfel, există o strânsă legătură între saturația cu oxigen și nivelul de ventilarea al plămânilor care poate fi afectată de boli pulmonare ca astm, BPOC, fibroză.

Aceste afecțiuni pot provoca amețeli, dureri de cap, oboseală, respirație rapidă, hipertensiune și altele. Este recomandat de a lua măsuri urgente în cazul când ritmul respirator este mai mare de 30 de respirații pe minut, iar saturația sângelui cu oxigen scade sub valoarea de 93%.

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

În prima etapă, s-a determinat frecvența ciclurilor cardiace cu ajutorul prototipului elaborat în stare de repaus, iar în a doua etapă, pacientul trage adânc aer în piept și reține respirația timp de 12 secunde. În rezultatul analizei datelor obținute, în a doua etapă a experimentului, s-a stabilit că are loc diminuarea frecvenței cardiace, datorită efectului schimbării de poziție a cordului (tabelul 3.3.).

Tabelul 3.3. 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	64	12	4
IV	69	M	86	173	70	66	14	5
V	31	M	103	182	75	64	14	4
VI	61	M	92	175	82	76	14	5
Media					76,3	68,2	13,7	4,7

În rezultatul modificărilor sincronice ale frecvenței ciclului cardiac și al frecvenței respirației, a fost stabilită posibilitatea determinării sincronizării sanogene ale funcțiilor cordului și sistemului respirator [8].

Mecanismul fenomenului încetinirii FCC poate fi explicat prin faptul că aerul aflat în plămâni exercită o presiune intratoracică de $+50 \div 100$ mmHg, pe când, în mod obișnuit, presiunea normală este negativă $-2 \div 15$ mmHg. Din cauza presiunii intratoracice crescute, are loc compresia venelor pulmonare a cavei inferioare/superioare, debitul venos către inimă se reduce, iar drept rezultat scade atât frecvența ciclurilor cardiace, cât și debitul cardiac. De asemenea, în timpul unui efort fizic are loc adaptarea sistemelor cardiovascular și respiratori și sincronizarea acestor sisteme la regimul metabolic al sistemului muscular, astfel se menține un debit sangvin și un aport de oxigen crescut. S-a stabilit că odată cu scăderea frecvenței respirației are loc sincron și scăderea frecvenței ciclului cardiac (fig. 3.16).

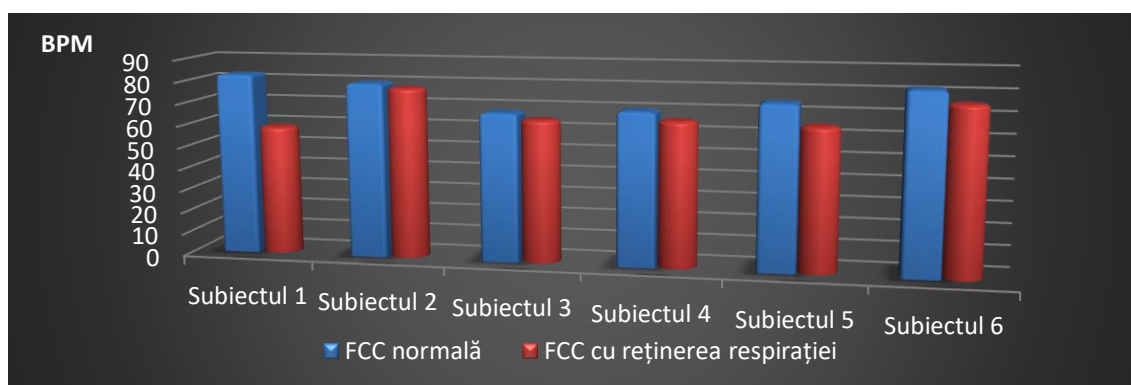


Fig. 3.16. Modificarea frecvenței cardiace în dependență de frecvența respirației

Prototipul elaborat stabilește dacă este încălcat diapazonul prestabilit și începe cronometrarea timpului. Dacă timpul de menținere a valorii frecvenței respirației, în afara diapazonului sanogen, depășește o perioadă predeterminată, iar SpO_2 scade sub valoarea de 93%, atunci are loc generarea unui semnal de alarmă. Aceasta poate determina dacă pacientul suferă de sindromul apnee de somn sau alte afecțiuni, astfel se pot lua măsuri de contracarare a acestei afecțiuni.

Un alt aspect important reprezintă artefactele de mișcare, care nu pot fi eliminate total. Aceasta depinde de amplitudinea direcția și frecvența mișcărilor, în special a mușchilor pectorali. Monitorizarea respirației și a saturației sângelui cu oxigen sunt dependente una față de alta, astfel, dacă are loc stoparea sau reducerea frecvenței respirației sub valoarea normală, atunci se detectează că SpO_2 va scădea sub valorile normale de 93%.

Așadar, rezultatele obținute denotă că dispozitivul elaborat poate fi recomandat pentru telemonitorizarea în dinamică a funcțiilor sistemului cardiorespirator. Sistemele de achiziție a semnalului ECG prelevează semnalul și sunt determinate de numărul de cicluri cardiace care corespunde din punct de vedere a valorilor, prelevate de către prototip și sunt aproximativ identice cu valorile afișate de dispozitivele medicale. Aceasta denotă că gradul de precizie al algoritmului de calcul este destul de ridicat, iar datele care sunt prelevate pot expune starea de sănătate somato-vegetativă a sistemului cardiac.

Totodată, măsurările efectuate asupra rezistenței electrice a cutiei toracice denotă faptul că, folosind tehnologia determinării transimpedanței electrice, putem obține graficul pneumogramei, de unde se extrage numărul de respirații pe minut. Astfel, folosind sisteme de biosenzori și sisteme de procesare avansate, s-a realizat un sistem de monitorizare a sistemului cardiorespirator non-invazive cu performanțe apropiate celor certificate medical.

În rezultatul evaluării deviației și erorii față de datele indicate de electrocardiograful MAC2000, s-a stabilit o variație medie de ± 2 bătăi pe minut, cu deviația standard de 1,4 și eroarea standard de 0,2%. Valoarea medie a acurateții este 98,3%, ceea ce indică că algoritmul prototipului elaborat detectează destul de corect frecvența ciclurilor cardiace.

S-a evidențiat că acuratețea algoritmului Pan-Tompkins, implementat pe dispozitivul elaborat, este în concordanță și apropiată de valoarea afișată de echipamentele medicale folosite în medicină.

S-a demonstrat că valorile medii ale variabilității frecvenței cardiace, prelevate cu ajutorul prototipului în raport cu electrocardiograful MAC2000, are o abatere medie de $\pm 0,4$ bătăi pe minut. Această diferență se află în limitele de eroare ± 3 bătăi pe minut, valorile standard pentru electrocardiograf.

S-a stabilit că numărul de respirații prelevate cu ajutorul prototipului corespunde cu datele preluate cu ajutorul spirometrului. S-a înregistrat că, odată cu scăderea frecvenței respirației, are loc sincron și scăderea frecvenței ciclului cardiac.

3.3. Integrarea senzorului de pulsoximetrie MAX30100

Pulsoximetrele sunt utilizate pe larg în medicină începând cu anii 1970-1980. Un pulsoximetru este un dispozitiv medical care măsoară indirect nivelul saturației oxigenului din sânge a pacienților și, anume, ce pondere din moleculele de hemoglobină sunt saturate cu oxigen.

În contextul pandemiei de COVID-19 monitorizarea în timp a nivelului de saturație cu oxigen este foarte important pentru grupurile de persoane expuse riscului de infestare. Datorită faptului că măsurarea SpO_2 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. De asemenea, analizând unda pletismografică, se poate calcula frecvența ciclului cardiac.

Modulul pulsoximetru din componența prototipului elaborat a fost proiectat folosind detectarea luminii infraroșii și vizibile (roșii) de la lumina care penetrează sau se reflectă la nivelul pielii pacientului. În funcție de volumul de sânge care circulă și gradul de absorbție a luminii, s-a determinat saturația oxigenului din sânge.

Partea de achiziție este asigurată de modulul specializat MAX30100 de la Maxim Integrated, care conține sistemul optic și electronic necesar pentru achiziția semnalului. Comunicarea cu microcontrolerul ESP32 se realizează în baza interfeței I2C. MAX30100 conține sisteme de compensare a luminii ambientale și convertoare analogic-digitale pe 14 biți și senzor de temperatură pentru corecție.

Sistemul optic este format de două LED-uri, cu spectru în infraroșu (aproximativ 880 nm) și un LED de lumină roșie (în jur de 660 nm lungimea de undă) și fotoreceptor. Curentul de alimentare este programabil și poate varia între 0mA și 50mA. Durata impulsului este la fel programabilă și poate varia între 200μs și 1600μs, frecvența de preluare a datelor constituie

125Hz, dar poate fi setată între 50Hz și 1kHz. Din punct de vedere optic, MAX 30100 reprezintă un model optic bazat pe reflexie, astfel, se captează lumina reflectată de la vasele de sânge care se află la nivelul pielii.

De fiecare dată când sângele este pompat spre periferie (faza de ejeție), vasele de sânge se extind datorită tensiunii arteriale create de inimă, astfel, variază gradul de absorbție a luminii. Frațiunea neabsorbită va ajunge prin transmisie sau reflexie la celula fotoreceptor și, în funcție de cantitatea de lumină primită, celula fotoelectrică stabilește modificările volumului de sânge subcutanat.

Variațiile sistolo-diastolice de flux sanguin din rețeaua cutanată, determină variații echivalente ale curentului, iar forma graficului va fi similară cu a pulsului arterial. Unda pulsului normală are o pantă anacrotă abruptă, un vârf ascuțit și o undă dicrotă care este concavă la bază. Undele pletismografice de puls sunt foarte variabile și forma undei se modifică în multe afecțiuni și stări ale organismului ca: hipertensiune arterială, diabet zaharat, boli cardiovasculare.

În prima etapă, s-a efectuat conexiuni electrice cu MCU, care se realizează cu ajutorul unui soclu specializat pentru interfața I2C. Conexiunea s-a efectuat cu ajutorul unui cablu flexibil care conține 4 fire (2 fire pentru alimentare și 2 pentru date), care alimentează cu energie modulul MAX30100 și MAX30205 (fig.3.17). Firul flexibil, se lipește pe placa de interconectare cu ajutorul aliajului de lipit, iar în partea opusă, prezintă un soclu care poate fi introdus și scos în caz de necesitate.

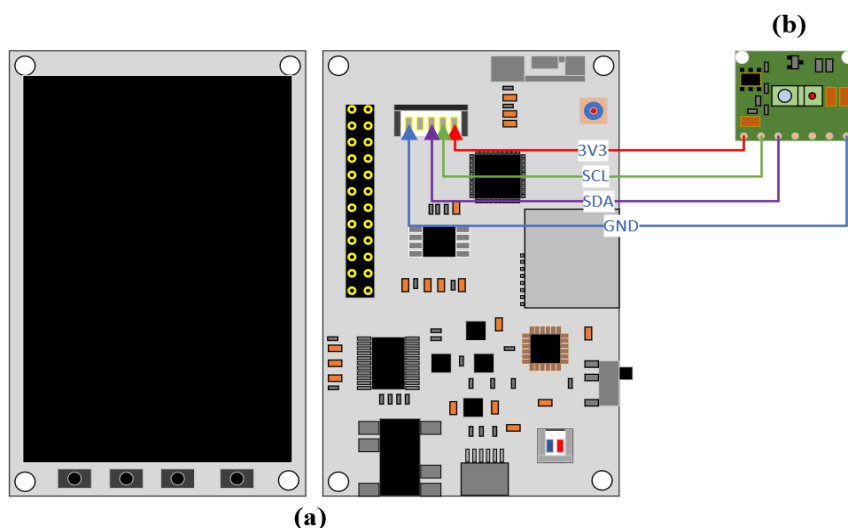


Fig. 3.17. Conexiunea cu modulul MAX30100 (original)

(a) - modulul TTGO TM, (b) - modulul MAX30100

Pentru a izola semnalul arterial, măsurarea saturației oxigenului din sânge se efectuează în maximumul amplitudinii undei pulsatile în scopul filtrării semnalul arterial. Pentru diminuarea efectelor produse de sângele venos sau alte țesuturi, sunt calculate diferențele de absorbție date de pulsul arterial în raport cu cele două surse de lumină utilizate. Microprocesorul ce prelucrează

fluxul luminos recepționat de senzori indică valoarea obținută în procente față de o valoare etalon (curba de corelație), obținută statistic pe un lot de indivizi considerat sănătoși, cifra afișată reflectând o valoare relativă.

În etapă ulterioară s-a realizat programul care a analizat datele preluate de fotoreceptor și le-a afișat pe display. Biblioteca care coordonează cu MAX30100 reprezintă o versiune modificată a bibliotecii MAX30100, creată de OXullo Intersecans. Pe display sunt afișate valorile SpO_2 și pletismograma. Datele analizate și valoarea SpO_2 , exprimate în procente, sunt transmise la fiecare 120 de secunde spre un server unde este expusă histograma evoluției pe o anumită perioadă (spre exemplu variabilitatea SpO_2 timp de 24 ore).

Cu ajutorul unui algoritm matematic, s-a determinat vârfurile undei pletismografice (PPG) pentru a calcula PTT (pulse transit time), ulterior din datele obținute se extrage tensiunea arterială. Pentru o calitate mai bună a semnalului a fost efectuată trunchierea componentei continue a semnalului PPG cu ajutorul unui filtru digital. Acuratețea determinării SpO_2 prin metoda pulsoximetriei este redusă în prezența unor afecțiuni ca anemii severe sau a hemoglobinopatiilor, a artefactelor de mișcare sau în absența unui flux arterial pulsatil (hipotensiune, stop cardiac, folosirea concomitentă a manșetei tensiometrului) (fig.3.18.).

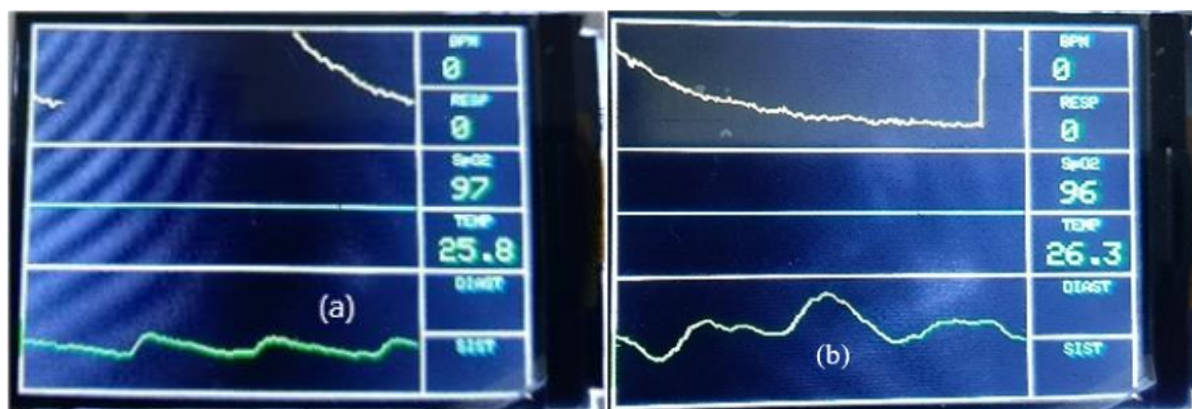


Fig. 3.18. Unda fotopletismografică captată cu MAX30100

(a) - pletismograma normală, (b) - pletismograma afectată de artefacte de mișcare

De asemenea, pot apărea diferențe în ceea ce privește designul probei folosite la nivelul degetului sau lobului urechii, sensibilitatea traductorului, frecvența de eșantionare, specificațiile de rejecție ale artefactelor și timpul în care se recalculează valoarea medie a saturației oxigenului din sânge. Datele brute sunt înscrise în memoria microcontrolerului sub forma unui masiv de date care ulterior se supune unor calcule specifice pentru determinarea saturației oxigenului din sânge. Preluarea datelor optice este sincronizată cu modulul ADS1292R pentru a determina PTT din cele două forme de undă. Pentru a determina veridicitatea datelor prelevate, a fost efectuată compararea datelor cu dispozitive certificate medical cu scopul evaluării deviației, erorii și acurateței (tabelul 3.4.).

Tabelul 3.4. Datele comparative a saturației oxigenului din sânge preluate pe trei tipuri de dispozitive

Subiectul	Vârsta (ani)	Valoarea SpO ₂ prototip (%)	Valoarea SpO ₂ CMS50D2 (%)	Valoarea SpO ₂ EDAN H100B (%)	Deviația	Eroarea (%)	Acuratețea (%)
I	30	98	97	98	0,5	0,51	99,48
II	31	96	96	98	-1	1,03	98,96
III	70	96	98	97	-1,5	1,54	98,45
IV	66	97	98	98	-1	1,02	98,97
V	65	98	98	97	0,5	0,51	99,48
VI	66	97	97	97	0	0	100
VII	60	99	97	98	1,5	1,53	98,47
VIII	55	97	97	97	0	0	100
IX	46	99	98	97	1,5	1,53	98,47
X	68	97	98	98	-1	1,02	98,97

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 antebrăului 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 pulsoximetru EDAN H100B și Contec CMS50D2 (fig. 3.19), iar valorile parametrilor saturației oxigenului din sânge au fost introduse în tabelul 3.4.

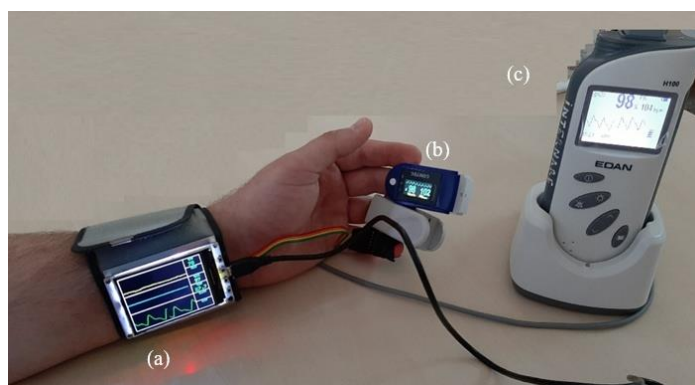


Fig. 3.19. Compararea valorilor SpO₂ pe trei dispozitive diferite (orig.)

(a) - prototipul cu senzorul MAX30100, (b) - pulsoximetrul CMS50D2, (c) - pulsoximetrul EDAN H100B

În rezultatul cercetărilor efectuate, s-a constatat că variabilitatea față de dispozitivele industriale certificate medical este de $\pm 1\%$, acuratețea detectării saturației oxigenului din sânge a variat între $98\% \div 100\%$, o deviație de $\pm 1\%$, iar marja de eroare standard are valoarea de $0,3\%$. Astfel putem spune 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. 3.20.). Analiza statistică efectuată demonstrează 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.

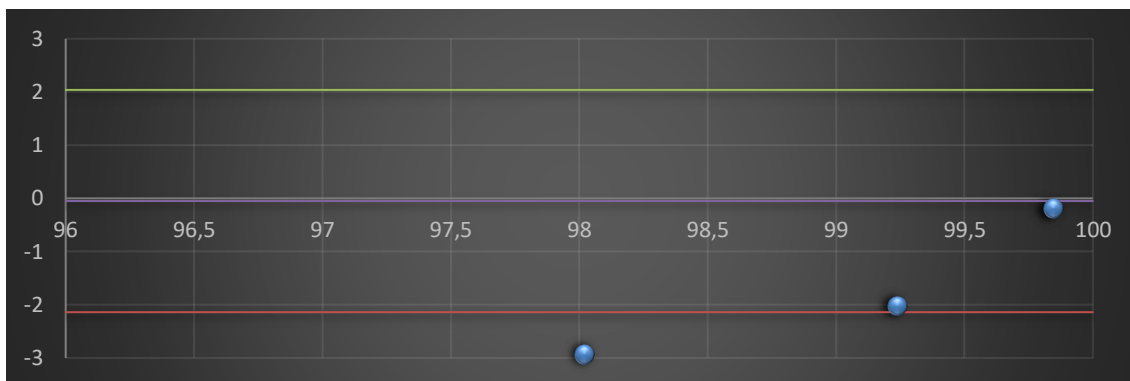


Fig. 3.20. Diagrama Bland-Altman pentru valorile SpO₂

Pentru reprezentarea valorilor saturației oxigenului din sânge (SpO₂), determinată cu ajutorul modulului MAX30100, implementat pe prototip, în comparație cu cele două echipamente medicale, s-a elaborat graficul corelației prezentat în figura 3.21. S-a stabilit că dependența liniară dintre cele trei dispozitive este aproximativ echivalentă. Astfel, corelația este veridică pentru intervalul 95-100% cu o certitudine de 95%.

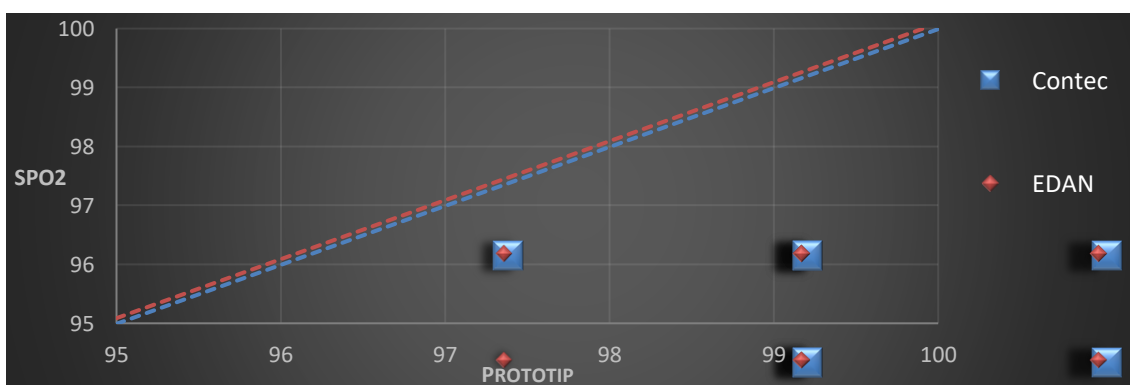


Fig. 3.21. Corelația dintre valoarea SpO₂ măsurată cu ajutorul prototipului și al dispozitivelor medicale

Valorile SpO₂, cuprinse între 94 – 100%, reflectă o saturație optimă a hemoglobinei cu oxigen, valorile de 93 – 88% definesc hipoxemia ușoară, cele de 87 – 83% – hipoxemia medie, iar cele mai mici de 83% – hipoxemia gravă. Astfel, în cazul când saturația scade sub 93%, se generează un semnal de alarmă care înștiințează pacientul despre necesitatea de a se adresa unui medic specialist. De asemenea, utilizarea unei astfel de soluții tehnice duce la o creștere a volumului de informație prelevată, datorită faptului că se pot determina mai mulți parametri

concomitent și, anume, saturația sângelui cu oxigen, frecvența cardiacă, tensiunea arterială. Gradul de oxigenare, în caz de scădere sub valoarea de 93%, generează un semnal de alertă.

Așadar, folosind biosenzori optici, se poate determina saturația cu oxigen, care este un parametru primordial în evaluarea stării pacientului. Metoda devine non invazivă și poate fi folosită pe un spectru larg de pacienți pentru evaluarea rapidă a stării sănătății. S-a stabilit că variabilitatea SpO_2 față de dispozitivele industriale certificate medical este de $\pm 1\%$. Acuratețea detectării saturației sângelui cu oxigen a variat între 98% și 100%, iar în comparație cu modelele industriale, arată o deviație de $\pm 1,0\%$ marja de eroare standard are valoarea de 0,3%.

Analiza statistică efectuată demonstrează că acuratețea senzorului de pe prototipul elaborat este destul de veridică și apropiată de valoarea afișată de echipamentele certificate medical, iar stabilitatea performanței pe prototip este, de asemenea, destul de stabilă, aceasta este adevărată de deviația standard mică.

3.4. Integrarea senzorului de temperatură MAX30205

Din cauza actualei situații pandemice de COVID-19, monitorizarea temperaturii corpului reprezintă prima linie de control și management a pandemiei. În instituțiile medicale sunt necesare dispozitive robuste, care determină temperatura corpului în timp real, cu cost redus și precizie/acuratețe înaltă.

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.

Mecanismul de autoreglare a temperaturii corpului uman este destul de complicat și localizat la nivelul hipotalamusului. Datorită procesului homeostatic de reglare fiziologică, temperatura corporală este menținută constantă (homeotermie) la o valoare medie de 37°C care este determinată de limitele sanogene, ce asigură procesele metabolice și fiziologice optime ale organismului.

Mecanismul de autoreglare se manifestă prin sinteza de căldură (termogeneză) și prin disiparea căldurii (termoliza). Generarea căldurii are loc pe cale metabolică (hormoni tiroidieni) și prin intermediu musculaturii (tremor). Termoliza are loc la nivelul pielii prin radiație termică, convecție și transpirație, respirație și, grație vaselor de sânge, care transportă căldura din interior spre exterior.

Temperatura corpului este o funcție variabilă, care depinde de echilibrul termic stabilit între cele două componente: termogeneza și termoliza. Dacă în urma unui proces are loc perturbarea echilibrului dintre termogeneză și termoliză, apoi, în cazul când temperatura corpului

scade sub valoare de 36 °C, are loc hipotermia, iar în cazul când temperatura depășește valoare de 37,5 °C, procesul se numește hipertermie sau febră.

Există anumite fluctuații ale temperaturii, care se cuprind în limita $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, chiar și la persoanele considerate sănătoase. Temperatura poate varia și în funcție de alimentație (bogată în calorii) și gradul de activitate fizică. De asemenea temperatura poate să difere în funcție de locație.

Hipertermia are loc atunci când organismul produce sau absoarbe mai multă căldură decât poate să cedeze de regulă, cauzată de expuneri prelungite la temperaturi ridicate sau datorită unor infecții.

Hipotermia apare în urma insuficienței de căldură, din această cauză temperatura corpului scade sub valori ce nu permit buna funcționare a metabolismului și a organelor, stare provocată de expunerea excesivă la apă sau aer rece.

Febra are rol de a redresa sănătatea somato-vegetativă și, totodată, servește ca indicator al unei infecții, al unui proces inflamator și al stării sănătății în întregime.

Există 5 categorii de clasificare a febrei:

- Febra ușoară – $37\div 38^{\circ}\text{C}$, de obicei, nu necesită tratament.
- Febra medie – $38\div 39^{\circ}\text{C}$
- Febra ridicată – $39\div 41^{\circ}\text{C}$
- Hiperpirexia – $41\div 43^{\circ}\text{C}$ reprezintă urgență medicală.
- $> 43\text{--}44^{\circ}\text{C}$ – limita critică, poate provoca șoc, convulsii, leziuni cerebrale și chiar deces.

Măsurarea temperaturii corpului uman depinde de locul de măsurare, intervalul de timp, de nivelul de activitate fizică întreprinsă și nivelul metabolismului organismului. Aceste valori sunt influențate de anumiți factori precum hormonii, ciclul menstrual, alimentația, sarcina și vârsta.

Un alt aspect important este determinarea tipului de termometru pentru monitorizarea temperaturii corpului uman. În practica medicală se folosesc termometre cu mercur, digitale, infraroșii, termoscanere. Din punct de vedere al securității și ergonomiei, s-a propus de a fi utilizate circuite integrate digitale cu precizie ridicată de măsurare.

De asemenea, este stabilit faptul că pentru fiecare creștere a temperaturii corpului uman, cu 1°C , frecvența ciclurilor cardiace și respiratorii se incrementează în medie cu aproximativ 10 și, corespunzător, 3-5 cicluri pe minut.

Pentru prototipul elaborat s-a folosit 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 să depășească valoarea de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, ceea ce corespunde cu parametrii tehnici ai cipului MAX30205.

Modulul de măsurare a temperaturii corpului se prezintă sub forma unui placaj imprimat, cu dimensiunile $23\text{mm} \times 18\text{mm}$, produs de compania Protocentral LTD. Modulul se află pe partea externă, atașat cu ajutorul unor pini de contact, care realizează contactul direct cu pielea pacientului. Pinii care realizează conexiunea electrică au rol de alimentare și de transmitere a datelor spre microcontroler pentru a fi analizate. Comunicarea se efectuează prin intermediul protocolului de comunicare I2C cu viteza de 400 kHz (fig.3.22.).

Un aspect de bază este corelarea dintre temperatura la nivelul pielii cu temperatura internă a corpului, dar și cu temperatura sistemului senzor-piele. Trebuie de luat în calcul că echilibru termic care se stabilește la nivelul senzor-piele poate indica o valoare a temperaturii diferită de cea internă și poate depinde de designul modulului, precum și multe alte aspecte.

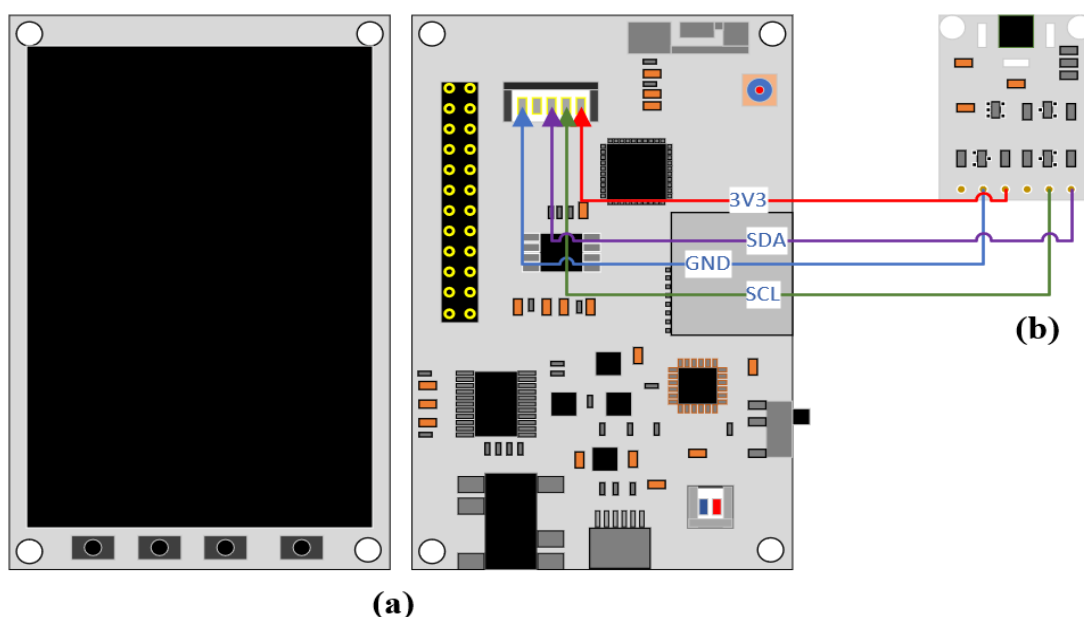


Fig. 3.22. Schema de conectare a modulului MAX30205 (orig.)

(a) - modulul TTGO TM, (b) - modulul MAX30205

Astfel, circuitul MAX30205 implementat în prototipul elaborat, conține toate circuitele electronice de conversie și digitalizare necesare citirii temperaturii. Modulul se află pe partea externă a plăcii de bioinstrumentație cu scopul de a crea un contact bun cu pielea pacientului. 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. Prin tehnologia Wi-Fi are loc transmiterea la fiecare 120 de secunde, astfel, se afișează istoricul evoluției temperaturii. Se poate monitoriza

temperatura corpului și, în caz de depășire a unor valori prestabilite, are loc generarea unei alarme. De asemenea, se contorizează timpul de expunere la starea febrilă.

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 antebraț timp de 15 minute s-a atașat prototipul în care se prelevează valorile temperaturii corpului uman, ulterior, au fost înscrise în tabel (tab. 3.5.). 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.3.23.).

Pentru a obține o precizie mai mare a datelor înregistrate de către termoscaner, este nevoie de condiții de izolare (încăperi închise), spre evitarea curenților de aer care pot indica valori mai mici ale temperaturii.

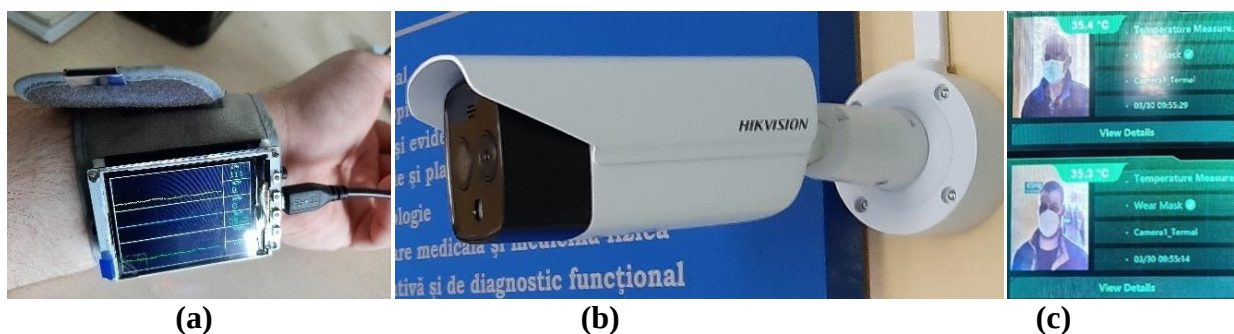


Fig. 3.23. Preluarea temperaturii corpului cu ajutorul prototipului și al camerei termale
(a) - determinarea temperaturii cu ajutorul prototipului, (b) - camera termală Hikvision,
(c) - afișarea rezultatului măsurării cu ajutorul camerei termale

În cazul unor fluctuații rapide a temperaturii mediului ambiant, precizia de măsurare poate varia. De asemenea, contează unghiul proiecției în momentul măsurării și distanța până la obiect. Un avantaj al termometrelor infraroșii și a camerei termale este durata de măsurare. Termometrele cu contact solicită o durată mai îndelungată, pe când termometrele non-contact pot efectua măsurători timp de $0,1 \div 1$ secundă.

În rezultatul datelor obținute, s-a stabilit o diferență medie de $0,4^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ a temperaturi măsurate cu prototipul bazat pe MAX30205 față de termometru infraroșu la nivelul antebrațului (tab. 3.5). 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.

Tabelul 3.5. Temperatura corpului prelevată cu ajutorul prototipului și a termometrului 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)
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	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$

Totodată, s-a stabilit că temperatura bazală diferă de cea măsurată la nivelul antebrațului, în medie mai mică cu cca $0,9^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Dat fiind faptul că la nivelul antebrațului, 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 $0,4 \div 0,5^{\circ}\text{C}$ mai mică ca temperatura bazală.

Așadar, s-a evidențiat că există o diferență medie de $0,4^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ a temperaturi măsurate cu prototipul bazat pe MAX30205 față de termometru infraroșu la nivelul antebrațului.

S-a stabilit că temperatura bazală diferă de cea măsurată la nivelul antebrațului, în medie fiind mai mică cu circa $0,9^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

3.5. Determinarea tensiunii arteriale cu ajutorul metodei Pulse Transit Time

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. Valorile care depășesc 140/90 mmHg, indiferent de vârsta pacientului, sunt clasificate ca HTA. În fiecare ciclu cardiac, tensiunea arterială variază între tensiunea arterială sistolică și tensiunea arterială diastolică. Nivelul normal de TA pentru adulții sănătoși se menține între 120 mmHg (TA sistolică) și 80 mmHg (TA diastolică).

Conform protocolului clinic național, în tabelul 3.6. este expusă tensiunea sistolică și diastolică a unui pacient, care se poate încadra în diferite categorii, ulterior, în măsurătorile

efectuate cu ajutorul prototipului, ne-am condus de aceste date care permit determinarea gradului hipertensiunii arteriale.

Tabelul 3.6. Clasificarea HTA în dependență de valorile tensiunii arteriale

Categoria	TA Sistolică (mmHG)	TA Diastolică (mmHG)
Valoare optimă	≤ 120	≤ 80
Valoare normală	120-129	80-84
Pre hipertensiune	130-139	85-89
Hipertensiune grad I	140-159	90-99
Hipertensiune grad II	160-179	100-109
Hipertensiune grad III	≥ 180	≥ 110
Hipertensiune sistolică izolată	≥ 140	≤ 90

În prezent, tensiunea arterială, în general, este determinată, episodic, chiar de pacienți sau în timpul vizitei la medic. Tensiunea arterială oferă informații utile despre proprietățile elastice ale vaselor de sânge, debitul cardiac al inimii și starea fiziologică a organismului. Determinarea este utilă pentru evaluarea rapidă a integrității funcțiilor sistemului cardiovascular.

Măsurarea tensiunii arteriale poate fi efectuată în două moduri – invaziv (cu ajutorul unui cateter introdus în vasul de sânge și conectat la un senzor de presiune) sau non invaziv (metoda Riva-Rocci, metoda Korotkoff, metoda oscilometrică). În cazul metodei invazive sunt implicați mai mulți factori de risc printre care hemoragii, risc de infecții. Procedura este dureroasă, și necesită personal medical calificat etc., din aceste cauze această metodă nu a căpătat o răspândire largă.

Utilizarea metodelor indirecte (oscilometrică, Korotkoff) au exclus riscurile care sunt specifice metodelor invazive prin folosirea unui sfigmomanometru, care este conectat la o manșetă de cauciuc sau alt material elastic. Cu toate acestea, metodele care se bazează pe aplicarea manșetei pe braț au anumite limitări și, anume, timpul de măsurare a tensiunii arteriale nu poate depăși 2-3 minute din cauza creării disconfortului și stăgnării circulației sanguine în brațul respectiv.

Timpul dintre măsurările consecutive trebuie să fie de minimum 5-15 minute, de aceea metodele respective sunt incomode și au anumite limitări în cazul măsurării continue a tensiunii arteriale. Metodele cu manșetă sunt precise, dar nu pot fi aplicate pentru o monitorizare continuă a tensiunii arteriale.

În ultimele decenii, au fost studiate și implementate metode continue și non invazive bazate pe dependența invers proporțională dintre PTT (Pulse Transit Time) și tensiunea arterială. PTT poate fi definit ca intervalul de timp dintre segmentul R al unei electrocardiografice și punctul caracteristic care coincide cu vârful unei anacrote a fotopletismogramei.

Evoluția tehnologică a circuitelor integrate a condus la miniaturizarea senzorilor optici și sistemelor de procesare, astfel, la momentul actual, metoda dată capătă o răspândire mai largă.

Procedura de determinare a tensiunii arteriale sistolice și diastolice include 3 etape consecutive. Prima etapă include colectarea datelor experimentale, valoarea PTT și tensiunea sistolică și diastolică. Pentru aceasta, cu ajutorul prototipului, a fost determinată valoarea PTT 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, 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 stăgănării circulației, care este indispensabilă în procesul preluării fotopletismografiei. Pacientul, înainte de a efectua proba experimentală, este instruit să evite mișcările și vorbirea în timpul măsurărilor.

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 este de a asigura o variație mai mare a tensiunii arteriale și, respectiv, al timpului de propagare al pulsului, astfel, relația de corelație matematică poate fi mai ușor determinată și va crește precizia sistemului.

Etapă secundară constă în stabilirea coeficienților de corelație dintre tensiunea arterială și PTT 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 PTT, exprimată în milisecunde pe axa ordonatelor. S-au efectuat trei măsurări pentru valoarea PTT și tensiunea arterială sistolică și diastolică (fig.3.24).

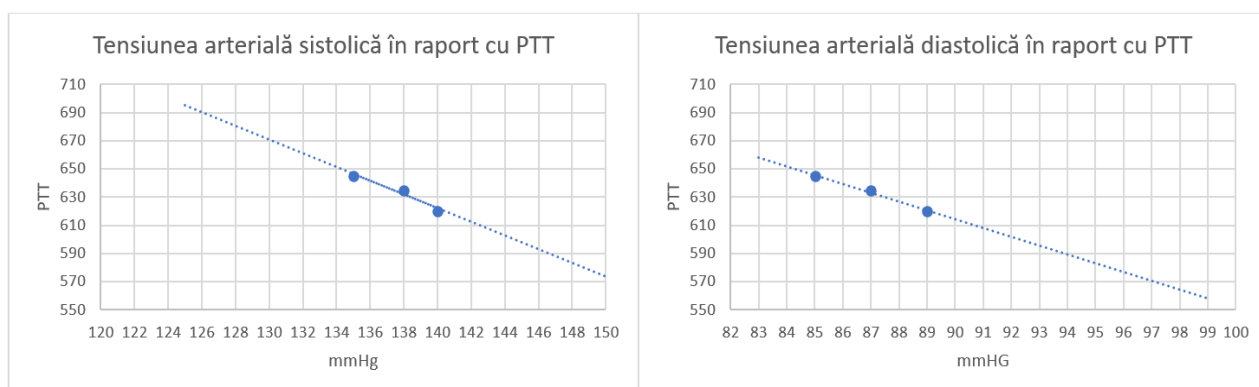


Fig. 3.24. Graficul regresiei liniare al dependenței TA de PTT

În baza graficului obținut, sunt stabiliți coeficienții de corelație A și B care formează dependența dintre PTT 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 PTT și valoarea obținută cu tonometrul automat OMRON M2 Classic Intellisense.

Datele au fost prelevate pe un eșantion de 10 voluntari în cadrul Serviciului Medical al M.A.I. Procedura de măsurare durează cca 30 de minute în care s-au efectuat 6 măsurări, cu un interval de 5 minute, pentru a permite circulației sanguine de a se restabili la valori normale în timpul de repaus. 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 diastolică.

Tabelul 3.7. Valoarea medie comparativă a tensiunii arteriale, măsurată cu ajutorul prototipului și al tonometrului

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

Primele trei măsurări sunt preluate pentru extragerea valorilor coeficienților, precum și formula de calcul a regresiei liniare pentru curba de corelație dintre PTT și tensiunea arterială. Următoarele 3 măsurări sunt preluate pentru analiza preciziei algoritmului, de unde se extrage valoarea medie, care este introdusă în tabelul de valori (tab. 3.7). 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 $\pm 4,5$ 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 $\pm 0,8$ mmHg, cu o deviație standard 3,3. Acuratețea generală este de aproximativ 96,3%, astfel, algoritmul se dovedește a fi exact, comparativ cu metoda oscilometrică.

S-a determinat că, pentru tensiunea sistolică, există o deviere mai mare decât cea diastolică, ceea ce poate fi legat de zgomotele/artefactele, care introduc o variabilă de timp suplimentară, dar și de faptul că acest calcul se bazează pe regresie liniară cu aproximare.

Tensiunea arterială calculată, din punct de vedere al preciziei, depinde de diapazonul de presiune măsurat, astfel, pentru tensiunea diastolică variațiile sunt mai mici comparativ cu tensiunea sistolică. În cazul creșterii TA sistolice, are loc diminuarea preciziei și performanțelor pentru determinarea tensiunii sistolice în raport cu tensiunea sistolică redusă.

Astfel, pentru tensiunea sistolică este necesară o calibrare mai precisă, dar și cu intervale de timp mai reduse. Pentru a evalua veridicitatea între cele două tehnici de măsurare, s-a elaborat diagrama Bland-Altman pentru intervalul 60 – 150 mmHg (fig. 3.25).

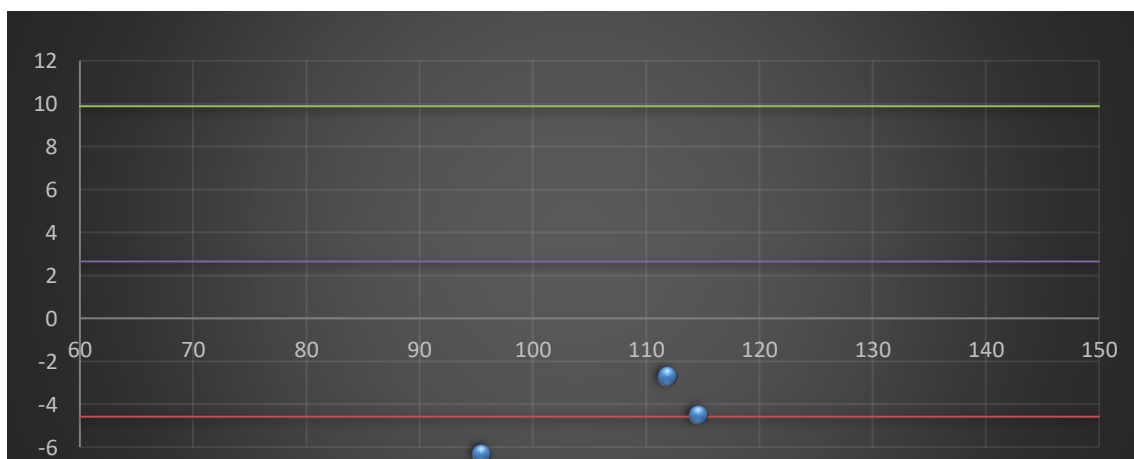


Fig. 3.25. Diagrama Bland-Altman pentru tensiunea arterială, determinată prin metoda PTT

Acest grafic reprezintă variația măsurărilor efectuate cu ajutorul prototipului în raport cu media generală. S-a demonstrat că metoda PTT 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 [9].

Pentru a reprezenta dependența tensiunii arteriale determinate cu ajutorul tonometrului automat, față de cea estimată prin metoda timpului de propagare a pulsului (implementată pe prototip), a fost realizată curba de corelație dintre cele două metode de determinare, folosite în acest studiu (fig.3.26).

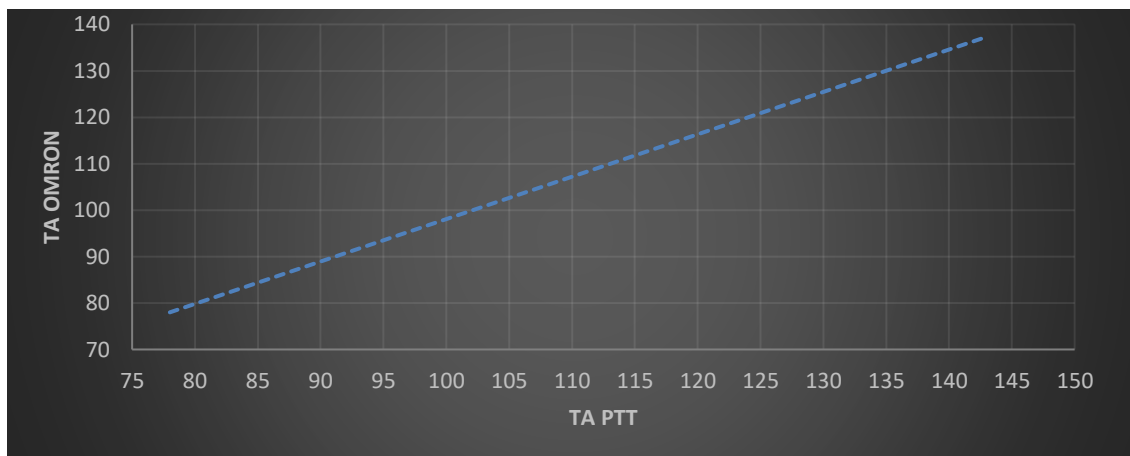


Fig. 3.26. Diagrama de corelare între metoda PTT și cea oscilometrică

Astfel, analiza datelor obținute demonstrează că valorile tensiunii arteriale, măsurate cu ajutorul tonometrului automat, folosind metoda oscilometrică în raport cu metoda de estimare a tensiunii arteriale prin corelația cu PTT, extras din semnalele fiziologice ECG și PPG, cu ajutorul prototipului elaborat, are o corelare aproximativ liniară.

Astfel, a fost demonstrată eficacitatea utilizării metodei de determinare a tensiunii arteriale cu ajutorul metodei cuffless (Pulse Transit Time), 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 [9].

Rezultatele experimentale denotă că metoda propusă a obținut o precizie relativ bună în comparație cu metoda oscilometrică pentru subiecții aflați în repaos. Metoda cuffless (fără manșetă) implementată are o acuratețe mai redusă comparativ cu metoda cu manșetă, dar pentru monitorizarea în dinamică este foarte bine venită.

În acest studiu au fost investigați doar indivizii normotensivi, astfel, că o dată cu creșterea tensiunii arteriale pot fi obținute rezultate mai variate, dar totuși cu o acuratețe destul de ridicată pentru evaluarea cardiovasculară în dinamică și pentru monitorizarea la distanță pe termen lung.

Din punct de vedere al preciziei de măsurare, este necesar de a efectua calibrarea nu mai rar de o dată în 30 de zile, însă e recomandat de a efectua calibrarea săptămânal, datorită

modificării proprietăților optice a țesuturilor și diferențierilor între indivizi, în ceea ce privește curba de calibrare a PTT față de TA.

Un avantaj pe care îl posedă sistemul elaborat este evitarea compresiei brațului, care duce la stagnarea circulației sanguine și poate provoca disconfort și durere. Una din limitări reprezintă sensibilitatea sporită la detecția segmentului QRS și a unde de puls, astfel, este recomandat de a evita mișcările în timpul determinării tensiunii arteriale pentru evitarea inducerea unor artefacte de mișcare sau folosirea unui subsistem de compensare, bazat pe un accelerometru cu 9 axe.

Protocolul de transmitere și determinare este programat și predefinit în codul programului, astfel, fiecare măsurare durează aproximativ 2 minute. Datele sunt transmise către platforma IoT asksensor.com, unde se poate vizualiza data și ora primiri datelor, se afișează grafic histograma și diagrama de evoluție/variabilitate a tensiunii arteriale. Valorile predeterminate pot fi setate pentru fiecare individ în parte, iar, dacă după un interval de timp predefinit, valorile care sunt recepționate se află în afara limitelor sanogene, se generează un semnal de alarmă.

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 III

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 bioingineriei 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 0,2%. Valoarea medie a acurateții 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 acuratețea generală de 95,5%.

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

5. S-a înregistrat o diferență medie de $0,4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ 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%, media a devierii $\pm 4,5\text{ mmHg}$ și deviația standard de 3,2 pentru tensiunea sistolică. Pentru tensiunea diastolică, media erorii este de 3,6%, devierea medie de $\pm 0,8\text{ mmHg}$, și o deviație standard 3,3. Acuratețea generală este de aproximativ 96,3%, astfel, algoritmul se dovedește a fi exact, comparativ cu metoda oscilometrică.

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

Utilizarea tehnologiilor de comunicații fără fir reprezintă un element cheie pentru aplicațiile de monitorizare continuă a stării de sănătate a persoanei. Dezvoltarea rapidă a nanotehnologiilor și microelectronicii au condiționat apariția unor domenii noi în sfera medicală, ce conduc la sporirea calității de acordare a asistenței medicale.

Biosenzorii și dispozitivele portabile necesită un flux constant a datelor prelevate și acces continuu la rețeaua de internet pentru a fi accesate în orice moment de către personalul medical. Aceste domenii se bazează pe sisteme înglobate sau microcontrolere și senzori biomedicali cu consum redus de energie.

Dezvoltarea sistemelor de procesare digitală a semnalelor și a biosenzorilor va conduce la schimbarea ideologiei sistemului medical. În domeniul medical este deja răspândit termenul de „Sănătate digitală” și „Telehealth/Telemedicină”, care prevăd și introduc noi metode și sisteme de monitorizare în timp real, ceea ce conduce la dezvoltarea unor baze de date ce ar îmbunătăți și preciza stabilirea diagnosticului.

La ora actuală, majoritatea dispozitivelor, de tip brățară, operează în diapazonul de frecvență radio 2,4 GHz, care este folosit în aplicații industriale, în domeniul științific sau medical. Există câteva protocoale de comunicare care folosesc banda de frecvență 2,4 GHz precum, Wi-Fi, Bluetooth, BLE, ZigBee, 2G, NFC, LoRa-WAN și altele. Avantajele acestei benzi de frecvență reprezintă o rată de transfer ridicată, standardizare și compatibilitate între dispozitive. Astfel, actualmente există o diversificare în cantitate marea dispozitivelor și platformelor.

În cazul folosirii tehnologiei Wi-Fi, care utilizează comunicarea radio în banda de frecvență 2,4GHz, antena de emisie/recepție de dimensiuni mai reduse. De asemenea, există benzi de frecvență alternative care se află în domeniul Sub-GHz pentru aplicații IoT. Cele mai răspândite sunt: 433MHz, 868 MHz și 915 MHz. Aceste frecvențe sunt viabile doar pentru anumite regiuni astfel, 433 MHz este repartizată regiunilor din Asia, 868 MHz – pentru Europa, 915 MHz – pentru SUA.

Sistemele wireless pentru monitorizarea continuă a sănătății reprezintă o tehnologie-cheie pentru a contribui la reducerea cheltuielilor din domeniul asistenței medicale. Sistemele de monitorizare a parametrilor vitali permit unei persoane monitorizarea parametrilor vitali în

dinamică, ca un bio-feedback, în urma cărora pot fi luate măsuri de corecție/ajustare, ce contribuie la menținerea unei stări de sănătate optime.

Pacienții cu boli cronice care sunt sub tratament de lungă durată, cu ajutorul unui astfel de sistem, sunt sub observație continuă, în urma căreia se pot efectua ajustări ale tratamentului pentru a obține un management optim al afecțiunii cronice.

În ultima perioadă, există o piață dezvoltată a tehnologiilor IoT (Internet of Things, tr. Internetul Obiectelor), conceptul cărora se bazează pe interconectarea mai multor dispozitive cu ajutorul internetului. Drept *obiecte* pot servi senzori, dispozitive medicale, smartphone-urile și altele.

Dispozitivele pot integra senzori, sisteme automate de procesare care preiau informația din mediul înconjurător și sisteme de radio-comunicare ce transmit la distanță. Datorită diversificării și răspândirii în diferite arii ca: medicina, sportul, bioingineria, cerințele față de acest domeniu sunt în creștere, iar piața se află în dezvoltare continuă.

Tehnologia IoT este foarte promițătoare în ceea ce privește monitorizarea continuă a parametrilor vitali (SpO₂, FCC, FR, TA, TC) cu ajutorul biosenzorilor. Comunicarea în timp real, dar și ușurința implementării și folosirii acestui tip de sistem poate reduce costurile de mentenanță și poate deveni un lucru familiar pentru utilizatori.

Unul din conceptele pe care se axează sistemul elaborat este de a oferi posibilitate pacientului care suferă de boli cronice sau pacienților care necesită asistență medicală la domiciliu, să aibă acces la investigațiile medicale de rutină care sunt realizate cu ajutorul unui prototip medical, iar aceste date sunt transmise către un medic în regim real.

Astfel, pacientul se află la domiciliu și nu este necesară deplasarea sa la cabinetul medical, prin urmare este exclus și impactul psihologic de „halat alb” care poate influența negativ investigațiile medicale. Pacientul poate continua tratamentul la domiciliu, astfel, se reduce perioada de spitalizare.

Avantajele folosirii unui astfel de sistem sunt reducerea costurilor și timpului de acordare a serviciilor, în special pentru bolnavii cronici care necesită vizite și investigații regulate la medic. De asemenea, pentru sistemul medical se asigură o optimizare a serviciilor medicale și timpul de acordare a acestora, precum și intervenții rapide și eficiente, care conduc la reducerea dizabilităților și creșterea calității vieții.

Dezvoltarea unui sistem de monitorizare va produce un impact puternic, care va conduce la schimbarea ideologiei în domeniul medical prin implementarea de soluții tehnice inovatoare, moderne și de calitate. Un astfel de sistem, în cazul integrării la nivel național, va contribui la îmbunătățirea gradului de acces la tehnologii de ultimă generație, la creșterea calității asistenței

medicale, reducerea costurilor din sistemul medical, creșterea nivelului de sănătate și reducerea mortalității și morbidității.

Pentru realizarea unui astfel de sistem este necesară o analiză a sistemelor electronice de comunicare la distanță și evaluarea posibilităților de transmitere a informației prin diferite canale. Folosirea unui astfel de sistem poate fi clasificată în câteva grupuri de aplicații medicale. Astfel pot fi definite următoarele categorii de aplicații care implică folosirea unui sistem wireless de monitorizare a parametrilor vitali. Conceptele propuse sunt ierarhizate după gradul de complexitate a sistemului și subsistemelor care fac parte din procesul de monitorizare.

- Aplicații individuale pasive – se referă la aplicații de control al parametrilor vitali pentru fiecare individ în parte spre a promova un mod sănătos de viață. Pacientul individual monitorizează parametrii ce sunt folosiți pentru anamneză.
- Aplicații individuale active – reprezintă aplicațiile și sistemele hardware care, urmărind modificările în dinamică, pot prezice sau pot modela modul de viață al pacientului. Astfel, pacientul, monitorizând parametrii vitali, își poate regla nivelele de sarcină fizică sau doza medicamentoasă pentru a preveni anumite evoluții nedorite ale bolilor cronice (ex. reglarea activității fizice în funcție de tensiunea arterială sau modificarea dozei de medicamente hipertensive în funcție de TA) sau pot fi folosite ca sisteme de avertizare în cazul monitorizării în timpul activității normale sau efortului fizic.
- Aplicații Cloud/IoT/WEB – aplicații de tipul centre de telemonitorizare a pacienților la domiciliu. E vorba de serviciul unui medic ce monitorizează printr-un algoritm de detecție care, în cazurile când parametrii depășesc anumite limite sanogene, are loc declanșarea unei alarme care, ulterior, se clasifică după gradul de urgență, apoi se iau măsurile necesare. Acest tip de aplicații sunt pentru persoanele care trec cursul de reabilitare la domiciliu sau pentru persoanele cu dizabilități care sunt imobilizate și au nevoie de supraveghere continuă.
- Aplicații AI/Database– dat fiind faptul că în ultima perioadă are loc o dezvoltare accelerată a sistemelor cu inteligență artificială și machine learning, este rezonabil de a forma sisteme automate care, cu ajutorul unei baze de date medicale, poate primi decizii automat. De asemenea, crearea unei baze de date unificate poate duce la creșterea ratei decizionale în stabilirea diagnozei și a unui tratament de calitate.

De menționat că un sistem modern de telemonitorizare implementat în Republica Moldova va ridica sistemul medical la un nivel nou, mai aproape de standardele și cerințele Uniunii Europene. În același timp, un astfel de pas va conduce la sporirea calității vieții, crearea noilor specialități și introducerea de echipamente de ultimă generație, în conformitate cu recomandările tehnice actuale în domeniul telemedicinii. Un sistem de telemonitorizare modular care permite prelevarea și analiza parametrilor vitali și a semnalelor biomedicale, în dependență

de necesitățile pacientului, reprezintă, actualmente, o incontestabilă cerință în întreținerea sănătății la standarde înalte.

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

Utilizarea unui smartphone pentru comunicarea prin BLE nu este strict necesară, dar este o opțiune de rezervă de mare ajutor. Folosirea unui telefon inteligent facilitează comunicarea de urgență între centru de telemonitorizare și pacientul aflat sub supraveghere. De aici rezultă necesitatea de a elabora un soft special, dedicat pentru acest prototip cu protocolul de comunicare BLE.

S-a elaborat 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.

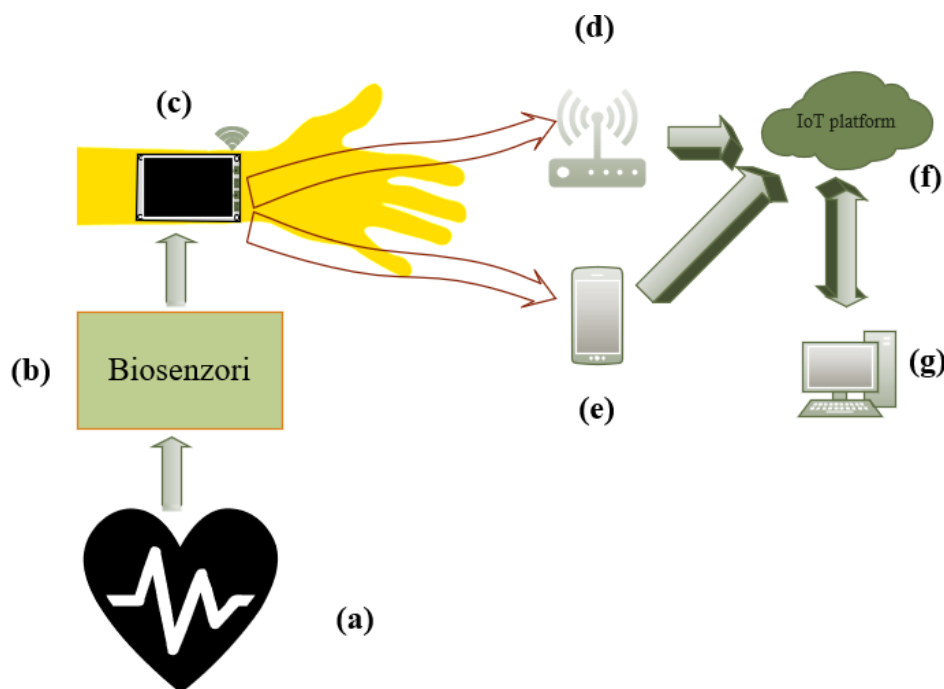


Fig. 4.1. Arhitectura sistemului de comunicare la distanță a sistemului elaborat (orig.)

**(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, s-a înregistrat 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 canalului de comunicare, astfel, se asigură securitatea cibernetică a datelor. Pentru fiecare grup de senzori s-a alocat o cheie API unică care direcționează datele transmise doar spre un singur destinatar.

Pentru fiecare grup de senzori se alocă 6 module diferite, unde 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 transmiterea datelor 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.

Forma generală de comunicare constă din următoarele:

- Hostname – reprezintă numele adresei de livrare;
- apiKeyIn – cheie de identificare API;
- module – modulul care corespunde cu parametri vitali (ex. module1– FCC, module2 – FR ș.a.m.d.);
- Value – valoarea atribuită pentru acest modul /parametru.

Pentru fiecare modul s-a atribuit o denumire și descrierea acestui modul. De asemenea, cheia de identificare unică API key se generează în două variante, dintre care s-a folosit doar cheia de intrare. Acest identificator unic se prezintă sub forma unei combinații unice de caractere și poate fi schimbat/generat la cererea utilizatorului.

Programul codificat în limbajul C generează acest link cu un interval determinat de timpul de prelevare a tuturor datelor (FCC, FR, TC, SpO₂, TA sistolică, TA diastolică, coordonatele GPS).

Astfel, am implementat următorul cod de generare a linkului, cu datele parametrilor vitali, care sunt expuse după expresia de mai jos. Forma generală de transmitere prin protocolul HTTP este următoarea:

<https://api.asksensors.com/write/apiKeyIn?module1=value1&module2=value2&module3=value3&module6=value6>.

Datele, odată ce sunt transmise, sunt afișate grafic pe tablou prezentând evoluția în timp a parametrilor vitali prelevați. Platforma IoT asksensor.com oferă interfață grafică pentru setarea modulelor.

În fig.4.2. este reprezentat aspectul general al grupului de senzori care participă la monitorizarea la distanță a parametrilor fiziologici prelevați cu ajutorul prototipului elaborat.

The screenshot displays the 'Add modules' section of the IoT sensor group management interface. At the top, there are input fields for 'Name' (containing 'Telemnitorizare') and 'Description' (containing 'Sistem de monitorizare la distanță a parametrilor vitali'). Below these are three buttons: 'Delete sensor' (trash icon), 'Clear sensor' (X icon), and 'Disable sensor' (power icon). The 'Add modules' section features a '+ Add Module' button and a table with the following data:

Actions	Module	Name	Description
[Edit] [Remove]	module1	FCC	Frecvența cicurilor cardiace
[Edit] [Remove]	module2	FR	Frecvența cicurilor respiratorii
[Edit] [Remove]	module3	SpO2	Saturația cu oxigen a sângelui
[Edit] [Remove]	module4	TEMP	Temperatura corpului la nivelul pielii antebratului
[Edit] [Remove]	module5	TASIST	Tensiunea arterială sistolică
[Edit] [Remove]	module6	TADIAST	Tensiunea arterială diastolică

Below the table is the 'API keys' section, showing 'API Key In' and 'API Key Out' with corresponding 'Generate new API Key' buttons.

Fig. 4.2. Meniul grupului de senzori de pe platforma IoT

Grupul de module poate fi șters sau oprit, la cererea utilizatorului, cu ajutorul butonului de comanda și istoricul parametrilor recepționați. Fluxul de date poate fi păstrat o anumită perioadă de timp în memoria Cloud. În acest meniu sunt prevăzute instrumente de editare:

- ✓ "Delete sensor" – ștergerea definitivă a grupului de senzori;
- ✓ "Clear sensor" – ștergerea fluxului sau istoricul de date recepționate;
- ✓ "Disable sensor" – stoparea recepționării datelor;
- ✓ "Generate API key" – generarea unei chei noi pentru grup de senzori.

În urma executării pașilor descriși, se afișează meniul de editare a fiecărui modul în parte, unde utilizatorul poate adăuga caracteristici fiecărui modul în parte. Pentru fiecare modul s-a atribuit un grafic de evoluție și o alertă.

Astfel, se pot vizualiza, în mod grafic, evoluția fluxului de date în dinamică pentru o analiză statistică. Graficul se prezintă sub forma unui cadran unde, pe axa orizontală, este timpul de recepție a datelor, iar, pe axa verticală, sunt valorile recepționate de la prototipul elaborat.

O altă funcție importantă reprezintă exportul datelor recepționate într-un fișier de tip CSV. Informațiile exportate pot fi folosite spre crearea unei baze de date care se va folosi la

analiza statistică, la îmbunătățirea deciziei medicale, la reducerea timpului de diagnostic, precum și la stabilirea profilului/ tiparului pentru diferite afecțiuni cronice.

● Telemmonitorizare

Actions		Module	Name	Description
+ Add graph	▲ Add alert	📄 Export	module1	FCC
+ Add graph	▲ Add alert	📄 Export	module2	FR
+ Add graph	▲ Add alert	📄 Export	module3	SpO2
+ Add graph	▲ Add alert	📄 Export	module4	TEMP
+ Add graph	▲ Add alert	📄 Export	module5	TASIST
+ Add graph	▲ Add alert	📄 Export	module6	TADIAST

Fig. 4.3. Meniu de editare a modulelor

În meniul de editare a senzorilor (fig. 4.4.) sunt următoarele câmpuri unde sunt afișate următoarele opțiuni:

- ✓ "Type" – tipul de reprezentare grafică care poate fi sub formă de grafic liniar, bare, puncte, tabel și altele;
- ✓ "Title" – titlul graficului;
- ✓ "X axis" – titlul axei orizontale;
- ✓ "Y axis" – titlul / unitatea de măsură /axa verticală;
- ✓ "Min" – valoarea minimă a axei verticale;
- ✓ "Max" – valoarea maximă a axei verticale;
- ✓ "Results" – numărul de probe afișate într-un grafic. În funcție de acest parametru depinde numărul de valori care sunt preluate și afișate grafic.

Edit graph : FCC

Type Bar	Title Frecvența ciclurilor cardiace
X Axis Ora	Y Axis BPM
Min 0	Max 0
Results 50	

Fig. 4.4. Meniu de configurare a graficului pentru fiecare modul în parte

O funcție importantă reprezintă setarea alertei în cazul depășirii valorilor limită, astfel, pentru fiecare modul există anumite limite sanogene care, în caz că sunt depășite, vor genera un semnal de alarmă care va fi expediat sub formă de mesaj textual la o adresa predefinită. Pentru a

seta alarma, se accesează butonul "Add Alert" care deschide un meniu configurabil pentru alarmă.

Alarma este configurabilă după doi parametri principali: limita pragului de jos și limita maximă a valori receptate (fig. 4.5.). Este necesar de predefinit adresa de expediere a mesajului de alertă și intervalul de timp între verificări. Intervalul de timp poate fi setat, dacă în momentul comparării datelor primite cu valoare de prag se va depăși diapazonul prestabilit, va fi expediat un mesaj de alertă la adresa predefinită.

Add alert : module1

Enable alert No ☒ Yes

Alert type Email

Condition Min/Max threshold

Min Value 50

Email nicolaibotnaru@gmail.com

Check-Interval 15min

Max value 120

Close Save

Fig. 4.5. Meniu de configurare a alertei

Forma generală a unui grafic este indicat în fig.4.6. Sunt prezente următoarele componente generale. Pe axa verticală s-a afișat frecvența ciclului cardiac (FCC), exprimată în bătăi per minut, pe axa orizontală se afișează data, ora recepționării datelor și, respectiv, graficul sub formă de puncte unite cu ajutorul unei linii. Datele receptate pot fi păstrate în memoria platformei până la 18 luni. Deasupra graficului este indicat titlul și sunt prezente câteva butoane de comandă.

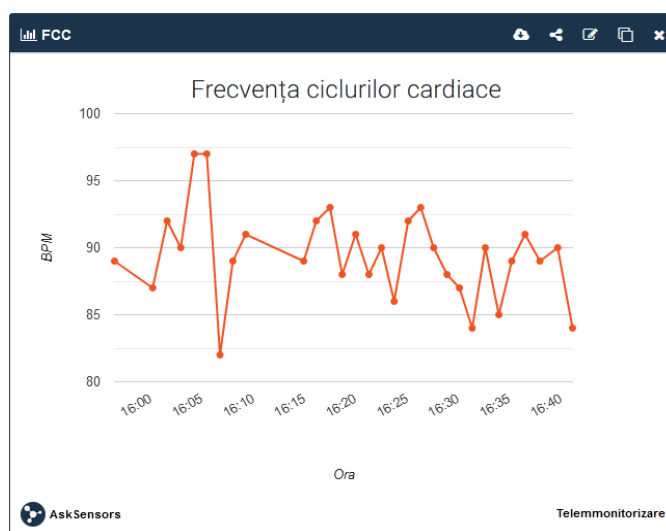


Fig. 4.6. Graficul evoluției frecvenței ciclului cardiac în dinamică

Butonul „*Export latest data*” este destinat pentru descărcarea datelor afișate în grafic într-un fișier CSV. Fișierul poate fi salvat în memoria calculatorului pentru a fi supus unei analize statistice. Butonul „*Share graph*” generează o adresă URL care poate fi partajată cu alți utilizatori sau aplicații. Butonul de editare „*Edit graph*” permite configurarea graficului sau modificarea tipului de diagramă. Butonul de ștergere „*Remove graph*” înlătură afișarea diagramei respective.

Platforma IoT asksensor.com integrează serviciul de geo-locatie și se prezintă sub două forme generale. În primul caz, valorile de latitudine și longitudine sunt setate manual, astfel, pe mapă se afișează un indicator ce indică poziția dispozitivului (fig.4.7.). Această funcție este utilă pentru o identificare rapidă a persoanelor sedentare la domiciliu.

Fig. 4.7. Setarea geo-locatiei manual în platforma IoT

În rezultat, se generează o fereastră în care se afișează mapa și un indicator care prezintă poziția pacientului (fig. 4.8.). Aceasta este un avantaj care permite operativ de a da indicații despre locul aflării pacientului în caz de necesitate.

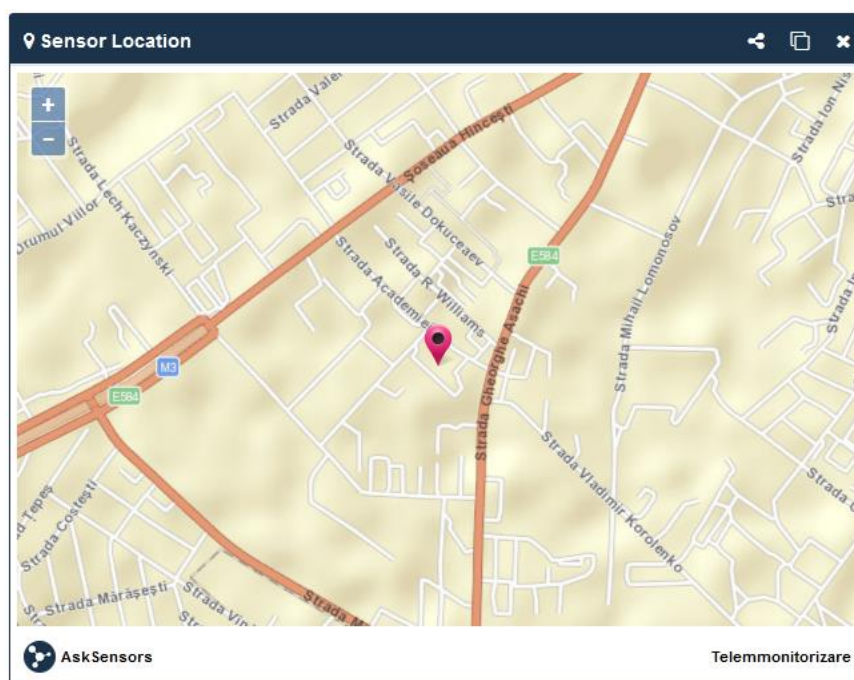


Fig. 4.8. Sistemul de geo-locatie integrat în platforma IoT

A doua variantă, s-a implementat geo-locăția urmărind în dinamică deplasarea pacientului cu senzorul de pe prototip cu ajutorul sistemului GPS. Astfel, pe hartă se pot vizualiza poziția GPS a pacientului, precum și istoricul deplasărilor în regim real, folosind protocolul HTTP/MQTT. Această funcție poate fi binevenită pentru persoanele care au o viață cotidiană activă. Interfața constă din 6 grafice unde sunt reprezentate evoluția parametrilor FCC, FR, SpO2, TC, TA sistolică și TA diastolică (fig. 4.9.).

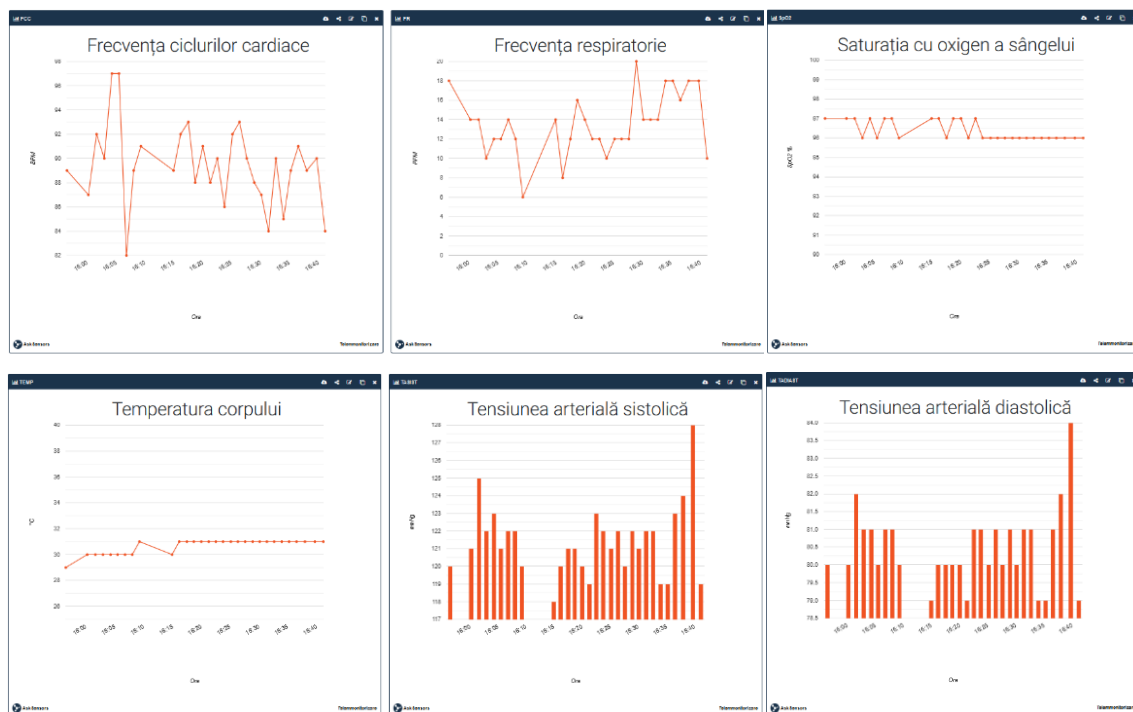


Fig. 4.9. Graficul evoluției în timp a parametrilor vitali

Din cele expuse mai sus se constată că, folosind graficul ce reprezintă evoluția în dinamică a unui parametru vital, se poate reda rapid informațiile pe ecranul utilizatorului. Avantajul folosirii unui sistem Cloud IoT reprezintă simplitatea de realizare a interfeței grafice și transmiterea datelor.

Astfel, se creează un sistem de comunicare eficient și rapid care expune informația în cel mai scurt timp și cu siguranță maximă. Formarea unui istoric al parametrilor vitali reprezintă un avantaj pentru stabilirea anamnezei și a diagnosticului. Aceasta asigură că medicul care supraveghează de la terminal evoluția parametrilor vitali are acces la cele mai noi date disponibile care apar pe interfața paginii web, ceea ce influențează pozitiv evoluția stării de sănătate a pacientului.

Așadar, s-a elaborat un sistem de comunicare eficient și sigur, care asigură transmiterea în timp real al parametrilor vitali, 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 pot vizualiza, în regim real, evoluția în dinamică a parametrilor vitali și se pot lua decizii rapide de acordarea primului ajutor în caz de necesitate. Astfel, folosind tehnologii moderne și sisteme înglobate, se poate modifica stilul de viață al pacientului, asigurând sporirea calității vieții, precum și reducând costurilor pentru managementul bolilor cronice.

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

Pentru a demonstra gradul de performanță a prototipului elaborat și a stabili funcționalitatea sistemului 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/disanogene a lor.

De menționat că această valoare poate fi dependentă de vârsta și sexul pacientului, astfel, toți parametri sunt setați în raport cu starea generală a pacientului. Prima etapă reprezintă aprecierea valorilor sanogene pentru fiecare parametru. Prin urmare, s-au apreciat următoarele criterii de alertă clinică pentru parametrii vitali:

Frecvența ciclurilor cardiace, în mod sanogen (normal), la persoanele sănătoase FCC, variază între 60-90 bătăi pe minut, astfel, pentru disanogenie s-a setat valoarea frecvenței cardiace mai mică 60 de bătăi pe minut (bradicardie), iar valorile mai mari de 90 de bătăi pe minut pentru tahicardie (fig. 4.10.).

Edit alert : module1

Enable alert No ☒ Yes

Alert type Email

Condition Min/Max threshold

Min Value 60

Max value 90

Email nicolaibotnaru@gmail.com

Check-Interval 15min

Close Save

Fig. 4.10. Setarea alertei și a valorilor de prag pentru FCC

Frecvența respirației la persoanele sănătoase și numărul sanogen de respirații pe minut se încadrează în limita 10-25 de cicluri. Cazurile care prezintă o frecvență respiratorie mai mică de 10 respirații pe minut sunt clasificate ca disanogene, inclusiv bradipnee, iar în cazul depășirii valorii de 30 de respirații pe minut, se clasifică tahipnee.

Edit alert : module2 ×

Enable alert No ☒ Yes

Alert type Email ▼

Condition Min/Max threshold ▼

Min Value 10 ▲▼

Email nicolaibotnaru@gmail.com

Check-Interval 15min ▼

Max value 30 ▲▼

Close

Save

Fig. 4.11. Setarea alertei pentru frecvența respirației

Saturația oxigenului din sânge, măsurată cu ajutorul pulsximetrului în mod sanogen (normal), constituie valori de peste 96%. În cazul scăderii indicelui sub 93%, nivelul asigurării oxigenului din sânge are caracter disanogen și este necesar de declanșată alerta clinică (fig. 4.12.). Valorile SpO₂ sub 93% solicită ventilare asistată sau oxigenoterapie.

Edit alert : module3 ×

Enable alert No ☒ Yes

Alert type Email ▼

Condition Min/Max threshold ▼

Min Value 93 ▲▼

Email nicolaibotnaru@gmail.com

Check-Interval 15min ▼

Max value ▲▼

Close

Save

Fig. 4.12. Setarea alertei pentru saturația cu oxigen

Temperatura corpului reprezintă un indice vital în evaluarea stării de sănătate. Indicele de temperatură variază între 35,6°C și 38,5°C, cu valoarea sanogenă medie de 36,8°C. Variația sanogenă a temperaturii corpului este de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Astfel, alerta pentru febră disanogenă se declanșează în cazul depășirii pragului de 38°C și în cazul când scade sub valoare de 34 °C, care indica hipotermie (fig. 4.13.). Datorită timpului de stabilire a echilibrului termic și a inerției termice, perioada de verificare va fi de 30 de minute.

Edit alert : module4 ×

Enable alert No ☒ Yes

Alert type Email ▼

Condition Min/Max threshold ▼

Min Value 34 ▲▼

Email nicolaibotnaru@gmail.com

Check-Interval 30min ▼

Max value 38 ▲▼

Close

Save

Fig. 4.13. Setarea alertei pentru temperatura corpului

Tensiunea arterială indică starea hemodinamică a sistemului cardiac. Hipotensiunea arterială reprezintă valorile TA_{SIST} mai mici de 90 mmHg și, respectiv, 60 mmHg – pentru TA_{DIAST} . Starea hemodinamică disanogenă sub formă de hipertensiune arterială este un semn de alarmă când valorile depășesc 140 mmHg pentru tensiunea sistolică și 90 mmHg pentru cea diastolică. Acest interval disanogen reprezintă definiția pentru clasa hipertensiune de gradul I. Pentru limitele sanogene a tensiunii sistolice s-a stabilit un prag minim de 90 mmHg, iar maxim 140mmHg, pentru tensiunea arterială, diastolică –pragul minim 60 mmHg și maxim 90mmHg (fig. 4.14.; 4.15.).

Edit alert : module5 ×

Enable alert No ☒ Yes

Alert type Email	Email nicolaibotnaru@gmail.com
Condition Min/Max threshold	Check-Interval 15min
Min Value 90	Max value 140

Fig. 4.14. Setarea alertei pentru tensiunea arterială sistolică

Edit alert : module6 ×

Enable alert No ☒ Yes

Alert type Email	Email nicolaibotnaru@gmail.com
Condition Min/Max threshold	Check-Interval 15min
Min Value 60	Max value 90

Fig. 4.15. Setarea alertei pentru tensiunea arterială diastolică

Pentru declanșarea alertelor în cazurile disanogenice sa 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 localizării și acordării primului ajutor (fig. 4.16).

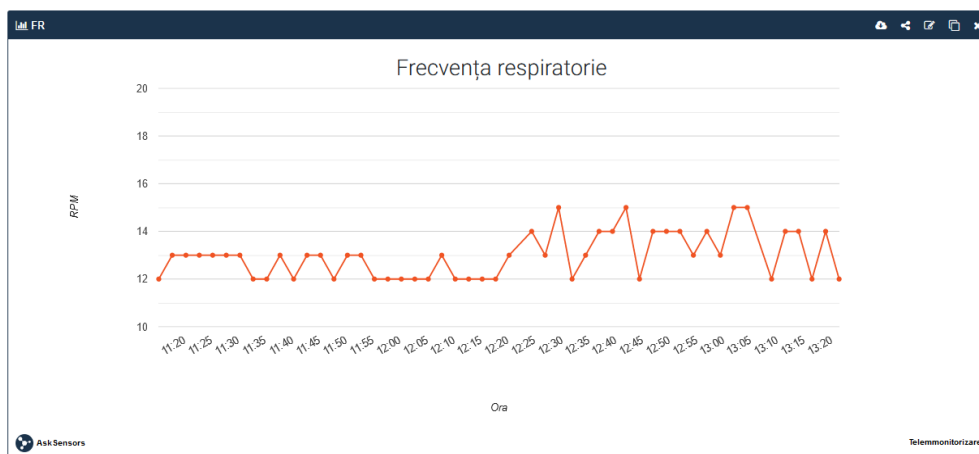


Fig. 4.18. Frecvența respirației, evoluția în dinamică

Temperatura corpului este un parametru captat cu ajutorul prototipului dat. Prototipul măsoară cu precizia de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, însă datele transmise sunt approximate ca numere întregi. Din punct de vedere fiziologic, variația diurnă a temperaturii corpului se află în limita $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ față de medie. Acest aspect nu influențează determinarea sau declanșarea stării de alertă în cazul depășirii limitelor sanogene. După cum s-a observat, variația temperaturii corpului este nesemnificativă și se află în diapazonul sanogen.

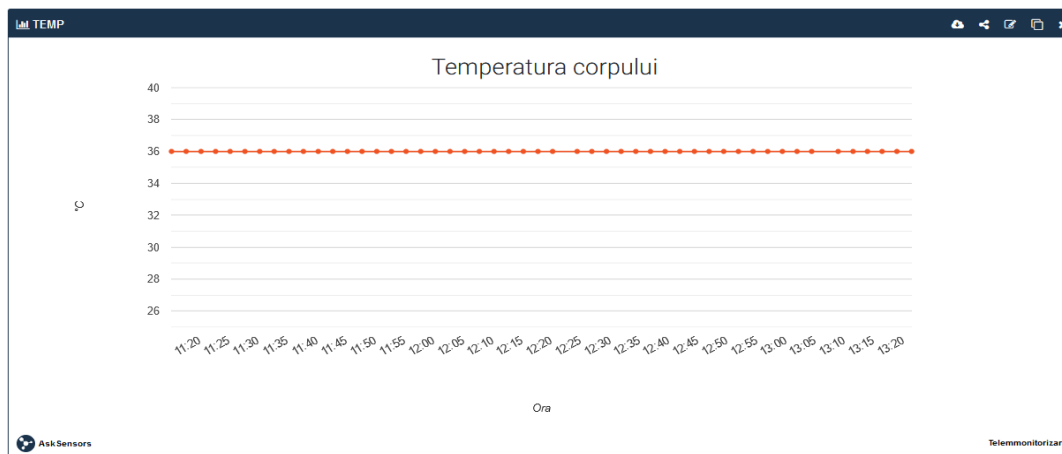


Fig. 4.19. Evoluția în dinamică a temperaturii corpului

Saturația cu oxigen reprezintă un element crucial în evaluarea stării de sănătate a pacientului. Din dinamica graficului se observă, că există o deviere de 1%. Aceasta se poate întâmpla din mai multe cauze, ca artefacte de mișcare sau alte perturbații. Totuși rezultatele primite denotă că saturația periferică a sângelui se menține la un nivel adecvat normal de aproximativ 97%. Acest lucru stabilește eficiența de măsurare a senzorului și a algoritmului de calcul a SpO_2 . Astfel, prototipul transmite date veridice care corespund celor certificate medical.

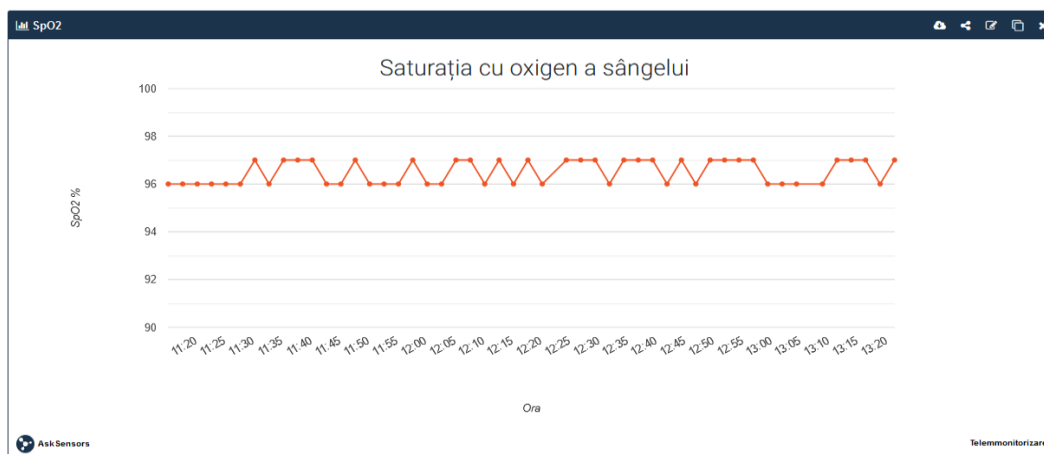


Fig. 4.20. Saturația oxigenului din sânge, evoluția în dinamică

Tensiunile arterială sistolică și diastolică sunt preluate prin algoritmul PTT, calculate și transmise spre platforma IoT. TA reprezintă un indicator de bază a stării hemodinamice sistemului cardiac. Acest parametru se determină timp de 120 de secunde, timp în care sunt captate unda ECG și PPG și sunt calculate pe durata timpului între punctele caracteristice. De asemenea, se observă o liniaritate, în cazul poziției pacientului orizontal față de cea verticală. Acest fenomen este legat de ortostatism și, astfel, pot influența unda pletismografică. Prin urmare, la trecerea în poziție ortostatică, are loc mărirea tensiunii sistolice în medie cu +3 mmHg (fig. 4.21.).

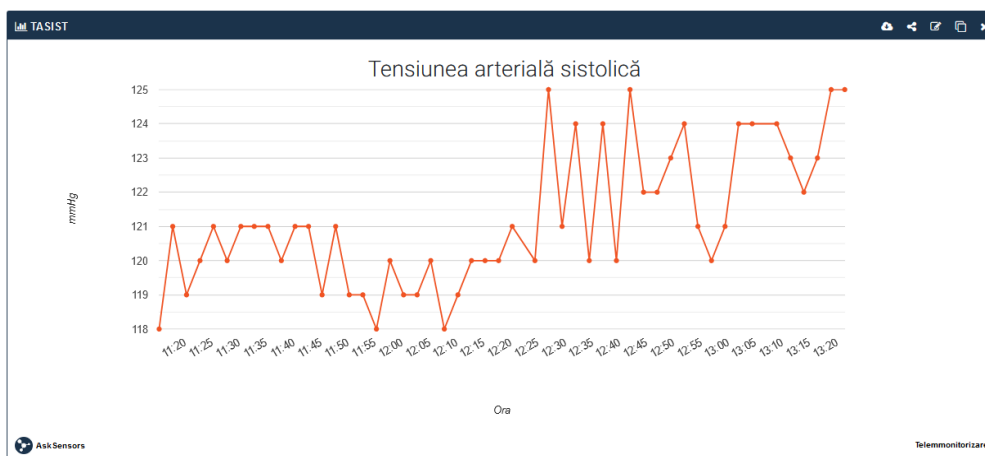


Fig. 4.21. Evoluția în dinamică a tensiunii arteriale sistolice

Tensiunea arterială diastolică prezintă modificări de o magnitudine mai redusă față de tensiunea sistolică. De asemenea, sunt observate anumite variații mici ale tensiunii, fapt cauzat de artefactele de mișcare care nu pot fi filtrate cu ușurință din sistem. Evoluția în dinamică a tensiunii arteriale este un avantaj pentru realizarea unui diagnostic și tratament de calitate. Transmiterea datelor este sincronizată de preluarea tensiunii arteriale. Astfel, în momentul când sunt citiți toți parametri vitali, se formează pachetul de date și transmis cu ajutorul rețelei wireless.

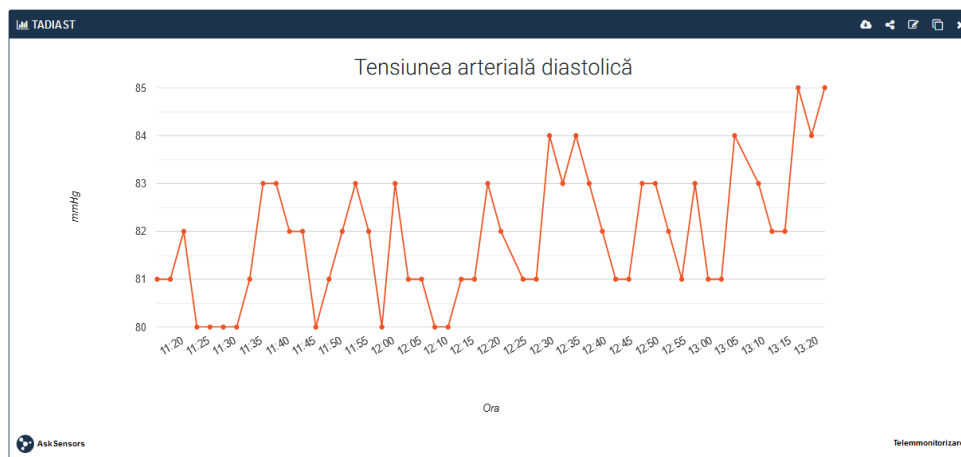


Fig. 4.22. Dinamica schimbărilor tensiunii diastolice

Totodată, s-a verificat capacitatea sistemului de a da alarmă prin imitarea creșterii FCC și FR. Pentru aceasta, s-a implementat o serie de exerciții fizice pe care pacientul le-a executat cu un anumit interval de timp. Pentru a urmări dinamica schimbărilor parametrilor vitali între două serii de solicitare fizică, există un timp de 60 de secunde de repaos. Graficul obținut este reprezentat în figura 4.23.

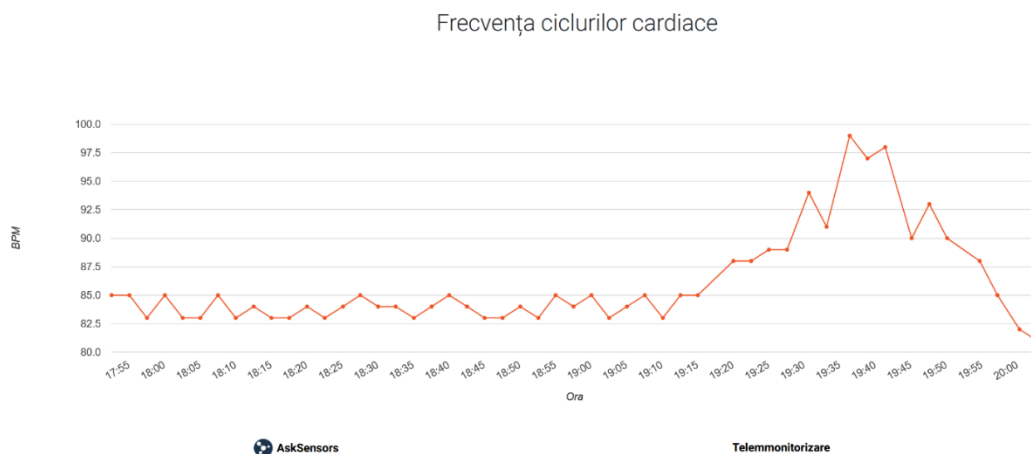


Fig. 4.23. Dinamica schimbărilor FCC în efort fizic

După cum s-a determinat înainte de efectuarea exercițiilor fizice, FCC se menține aproximativ liniar la nivelul de 82-85 de bătăi pe minut. În momentul intensificării activității fizice, FCC începe o creștere rapidă, iar în momentul când atinge valoare de 90 de bătăi pe minut, a fost declanșată alerta. Alerta se prezintă sub forma unui mesaj care se transmite la o adresă de e-mail predefinită, iar mesajul indică următoarele informații: valorile de prag setate, numărul modului (în cazul nostru module 1 = FCC), valoarea care a declanșat alerta, data și ora când a fost declanșată alerta (fig. 4.24).



Sensor Threshold Alert

Hi

The data read on your sensor has exceeded the alert threshold:

Sensor : Telemonitorizare
Module : module1
minThreshold : 60
maxThreshold : 90
Value : 94
Date : 26 Jun 2021 16:30:42 UTC

You receive this email because you have enabled an AskSensor email Alert.
Login to your AskSensors [account](#)

Fig. 4.24. Mesajul de alertă pentru depășirea diapazonului sanogen al FCC

S-a observat că, sincron cu creșterea FCC, are loc creșterea frecvenței respirației, ceea ce denotă că sistemele cardiac și respirator sunt sincronizate și interconectate între ele. La mărirea efortului fizic, crește necesitatea de oxigen care se reflectă prin creșterea FR, astfel se compensează deficitul de O_2 . Odată cu încetarea stresului fizic, frecvența revine la parametrii nominali în decurs de câteva minute (fig. 4.25.).

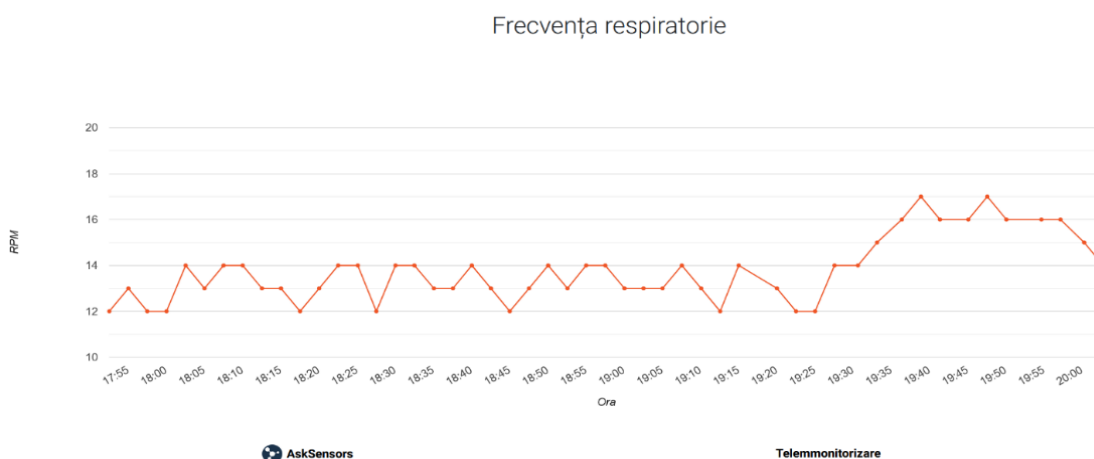


Fig. 4.25. Frecvența respirației, evoluția în dinamică la efort fizic

Platforma IoT afișează doar valorile numerice ale FR și nu oferă informații despre volumele respiratorii care se investighează cu ajutorul altor tehnici și echipamente special destinate de ex., spirometrul. În cazul când FR scade sub valoarea de 10 respirații pe minut, se declanșează alerta, care poate indica o afecțiune a sistemului respirator.

Monitorizarea parametrului dat poate ușura stabilirea diagnosticului și spori rapiditatea acordării asistenței medicale. În timpul efectuării efortului fizic nu au fost depășite limitele sanogene, astfel, pentru acest parametru vital, nu a fost generată alerta.

Tensiunea arterială reprezintă un parametru esențial în realizarea acestui sistem din cauza ponderii informaționale despre starea hemodinamică a sistemului cardiovascular. Sistemul de determinare a TA se bazează pe algoritmul de determinare a timpului de propagare a pulsului în plexul sangvin. Acest algoritm implică detectarea segmentului QRS și a punctelor caracteristice unei pletismografice, captată cu ajutorul unui biosenzor optic.

Timpul de determinare a TA este un proces ce durează în jur de 120 de secunde, în acest timp sunt captate datele necesare pentru determinarea TA. În momentul calculării TA sistolice și diastolice, datele se afișează pe display și, totodată, folosind protocolul HTTP, sunt transmise la adresa unică. În rezultat, pe interfață este afișată dinamica schimbării TA sub formă grafică. Graficul se prezintă sub formă de puncte discrete unite cu o linie pe axa orizontală unde se află timpul de primire a datelor, iar pe axa verticală se indică valoarea numerică a TA (fig. 4.26).

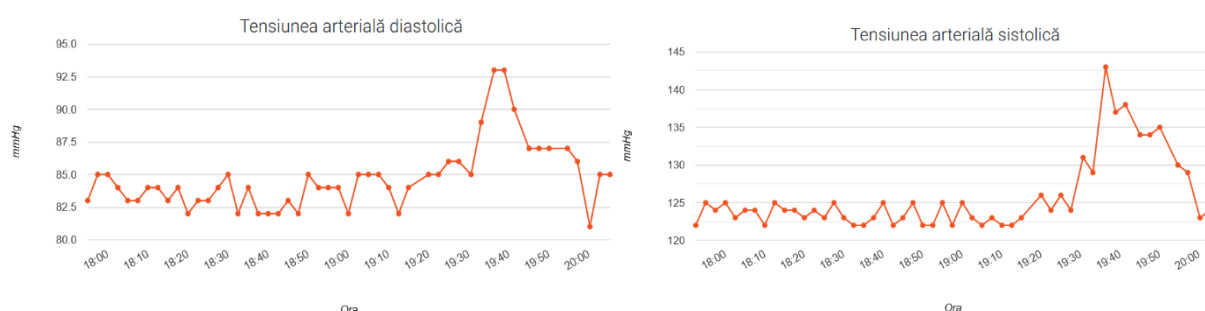


Fig. 4.26. Evoluția TA în dependență de sarcina fizică

În scopul determinării TA și urmărirea evoluției valorilor obținute experimental pe pacient s-a efectuat o serie de exerciții fizice, care la depășirea valorilor sanogene au declanșat alertă. 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.4.27.).

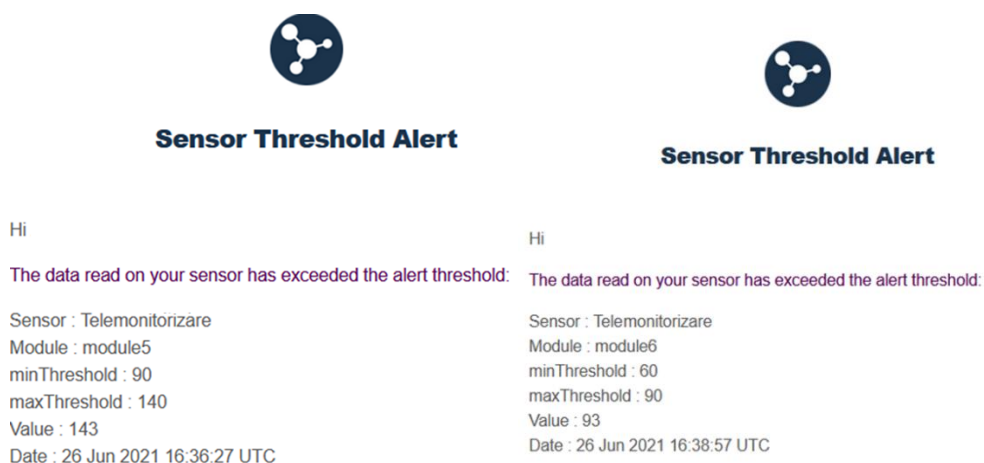


Fig. 4.27. Alertele detectării valorilor critice pentru TA sistolică și diastolică

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, la

necesitate datele pot fi descărcate în memoria calculatorului și supuse unei analize amănunțite.

Un impact al telemonitorizării se reflectă în crearea posibilităților de dozare eficientă a terapiei și strategiei corecte de control a valorilor tensiunii arteriale. Astfel, pot fi reglate dozele de medicație în funcție de evoluția tratamentului sau al stilului de viață al pacientului. Aceasta conduce la reducerea complicațiilor și evenimentelor cardiovasculare, respectiv, la diminuarea mortalității și morbidității.

În rezultatul cercetărilor efectuate s-a obținut un sistem avansat, care în timp real colectează, analizează, transmite la distanță valorile prelevate și alerta în caz de necesitate. Sistemul oferă toate instrumentele necesare pentru un bun management al tensiunii arteriale, dar și al altor parametri fiziologici și a detectării/tratării precoce a afecțiunilor. Sistemul folosește sisteme înglobate și biosenzori care sporesc ergonomia prototipului și permit pacientului de a efectua o activitate cotidiană normală.

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. Datorită volumului de date care crește exponențial, ce vin de la mai multe dispozitive de monitorizare, vor fi suprasolicitați medicii și se va forma efectul de bottleneck care va reduce din performanțele sistemului medical, veriga slabă fiind medicii.

Telemedicina nu va înlocui niciodată medicina față în față, dar este o soluție complementară care nu numai că ar răspunde noilor provocări ca pandemia SARS-CoV-2, dar ar fi un pas în față pentru reforma sistemului de sănătate prin digitalizare.

Tehnologia informațională și 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. Dar totuși, utilizarea pe scară largă din ce în ce mai frecvent a sistemelor telematice trebuie să depășească „bariera” impusă de costurile relativ mari de implementare pe care această tehnologie le presupune.

4.3. Concluzii la capitolul IV

1.Utilizarea în prototipul elaborat al sistemului de comunicare Wireless, canalelor specializate de comunicare, interconectate cu chei speciale API, ale 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 ale prototipului, prin evaluarea prelevării, stocării și analizei valorilor parametrilor fiziologici în dinamică, a detectării/alertării semnalelor sanogene și disanogene, 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.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 al 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 disanogene, 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, prin folosirea canale 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, sub meniu 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 necesar 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.

6. BIBLIOGRAFIE

1. Agenda digitală: Comisia solicită opinii referitoare la ameliorarea asistenței medicale prin aplicarea TIC (e-sănătatea). Bruxelles: OMS. 12 aprilie 2011. [citată 25.03.2016] disponibil: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/ro/IP_11_461.
2. ALECU, Adrian. Ghid ECG. România: *Farma Media*, 2015. 160 p. ISBN 978-973-87462-5-1.
3. BABIN, Alexandru, BARAD, Ian. Comorbiditatea bronhopneumopatiei obstructive cronice și hipertensiunii arteriale la pacientul ambulatoriu: de ce are importanță?. Chișinău: *Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină*, 2018. nr. 1-2(75-76), pp. 20-24. ISSN 1729-8687.
4. BOERIU, Vlad. Cum transformă inovațiile industria de sănătate. In: Deloitte.com. 2018, 19 ian. [citată 7.05.2018] disponibil: <https://www2.deloitte.com/ro/ro/pages/life-sciences-and-healthcare/articles/cum-transforma-inovatiile-industria-de-sanatate.html>.
5. BOTNARU, N. M. Telemonitorizarea sănătății – solicitarea incontestabilă a zilei. In: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*. 2017, 2(332), pp. 38-49. ISSN-1857-064X. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/38_49_Telemonitorizarea%20sanatatii%20-%20solicitarea%20incontestabila%20a%20zilei.pdf
6. BOTNARU, N. M. Telemedicina: impactul economic și social. In: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*. 2019, 2 (338), pp. 62-73. ISSN 1857-064X. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/62-73_0.pdf
7. BOTNARU, N. M. Telemedicina – medicina viitorului. In: Mater. conf. științ. intern., "Învățământ superior: tradiții, valori, perspective" *Științe Exacte și ale Naturii și Didactica Științelor Exacte și 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
8. BOTNARU, N. M. Telemonitorizarea în dinamică a funcțiilor și stării sistemului cardiorespirator la om. In: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*. 2020, 3(342), pp. 79-95. ISSN 1857-064X. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/79-95.pdf
9. 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 științe reale și ale naturii*, 2021, nr. 6(146), p. 44-48, ISSN 1814-3237. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/143834
10. CALIGA, Ioana, CROITORU, Cătălina. Efectele stresului termic asupra stării de sănătate. In: *Referat general J.M.B.*, 2017. nr. 1, pp. 4-7. [citată 09.06.2018] disponibil: http://webbut.unitbv.ro/jmb/JMB%202017%20nr%201/01_01_referat%20general_Caliga_Efectele%20stresului.pdf.

11. Cardiologia din Republica Moldova face față noilor provocări. USMF "Nicolae Testemițanu". 2016, 7 oct. [citat 25.12.2016] disponibil: <https://admitere.usmf.md/ro/noutati/cardiologia-din-republica-moldova-face-fata-noilor-provocari>.
12. CIOCHINĂ, Valentina. Variabilitatea frecvenței contracțiilor cardiace, tensiunii arteriale, atenției și productivității muncii intelectuale la adolescenții de 15-16 ani cu psihicul normal dezvoltat și cu retard mintal în condiții relativ confortogene și stresogene de menajare: Autoreferatul tez. de doct. în șt. biol. Chișinău, 1996, 26 p.
13. COJOCARI, Lidia, ȚÎMBALARI, Snejana. Monitorizarea unor parametri fiziologici ai sistemului respirator la copii în raport cu factorii sanogeni și patogeni. Chișinău: *Studia Universitatis (Seria Științe Reale și ale Naturii)*, 2014, nr.6 (76), p.35-39. ISSN: 1814-3237.
14. Comisia Comunităților Europene. Comunicare a Comisiei către Parlamentul European, Consiliu, Comitetul Economic și Social European și Comitetul Regiunilor privind telemedicina și beneficiile sale pentru pacienți, pentru sistemele de sănătate și pentru societate. Bruxelles , 4.11.2008 COM689 final.14p.
15. COSTIN, Hariton. Electronică Medicală. Iași: *CantesPubl. House*, 2000. 260 p. ISBN 973-8173-10-8.
16. COSTIN, Hariton. Sisteme de telemonitorizare a biosemnalelor vitale. Curs electronică medicală - o abordare practică. Iași: Universitatea de Medicină și Farmacie Gr. T. Popa. 2009.
17. COSTIN, Hariton, ROTARIU Cristian. Electronică Medicală – O Abordare Practică (Medical Electronics – a Practical Approach). Iași: U.M.F. “Gr. T. Popa” Publ. House, 2009. 105 p. ISBN 978-606-544-010-4, 978-606-544-012-8.
18. COSTIN, H., ROTARIU, C., BÂRLEANU, Al. Telemedicina în România – de la discuții la practică: MEDCARE - sistem de telemonitorizare cardiologică prin Internet, volumul Conferinței Naționale “*Managementul informației și informatizarea sistemului de sănătate*”, CJAS Iași, 2004. pp. 202-207.
19. COSTIN H., ROTARIU C., et al., MEDCARE - sistem pentru telemonitorizare cardiologică prin Internet, *Revista Medico-Chirurgicală*, Iași, Vol. 107, No.3, Supl. 1, pp. 528-533, 2003.
20. CRIVCEANSCHII, Lev. Monitorizarea parametrilor vitali la bolnavii critici cardiovasculari. USMF "Nicolae Testemițanu". 2015. 128p.
21. CUCOȘ, Bianca. STUDIU. Auto-monitorizarea tensiunii arteriale reduce riscul de AVC cu 20% și riscul de boală coronariană cu 10%. In: raportuldegarda.ro. 2018, 12 martie. [citad 25.04.2019] disponibil: <https://raportuldegarda.ro/articol/studiu-auto-monitorizarea-tensiunii-arteriale-reduce-riscul-avc-cu-20-riscul-de-boala-coronariana-cu-10/>.

22. DAN, Violeta. Telemedicina, o practică de viitor? Cât de viabilă este folosirea ei la scară largă. In: medijobs.ro. 2020, 19 mai. [citat 25.06.2020] disponibil: <https://medijobs.ro/blog/telemedicina-o-practica-ce-va-ramane-si-in-viitor>
23. Dispozitivul HeartView. Publicat de Clinica medicala Med-Telesystems. [citat 15.09.2016] disponibil: http://www.sfatulmedicului.ro/clinici/medtelesystems_3025/articole/dispozitivul-heartview_550.
24. DOGIOIU, Ioana Ene. De ce mor românii de accident cerebral? Explicații și vinovați Interviu. In : Ziare.com. 2013, 25 iunie. [citat 04.06.2017] disponibil: <https://ziare.com/viata-sanatoasa/creier/de-ce-mor-romanii-de-accident-cerebral-explicatii-si-vinovati-interviu1242>.
25. ENACHE, Elena. Câți europeni mor din cauza bolilor provocate de fumat. In : Ziare.com. 2013, septembrie [citat 04.06.2017] disponibil: <https://ziare.com/viata-sanatoasa/boli/cati-europeni-mor-din-cauza-bolilor-provocate-de-fumat-1255614>.
26. FURDUI, Teodor, CIOCHINĂ, Valentina. De la Fiziologia generală la știința nouă în biomedicină – Sanocreatologia – calea de dezvoltare a științei în Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie al Academiei de Științe a Moldovei. *Buletinul AȘM. Științele vieții*. Nr.1 (328) 2016. p. 75-100.
27. FURDUI, T., CIOCHINĂ, V., GLIJIN, A., FURDUI, V., VRABIE, V., MEREUȚĂ, I., VUDU, S., FEDAȘ, V. Sănătatea populației și reproducerea descendenților sănătoși – probleme majore ale societății și obiective prioritare ale sanocreatologiei. *Revistă științifico-practică INFO-MED "Tendențele fenomenelor demografice din Republica Moldova și păstrarea genofondului Țării"*. 2018. no. 2 (32). pp.30-34.
28. GALBUR, Oleg. Raport cu privire la evaluarea demografică a populației în republică (după vârstă, gender, mediu, tendințele pentru următorii 10 ani) și analiza morbidității în Republica Moldova, țările învecinate și Uniunea Europeană, tendințele și schimbările în ultimii 7 ani. Chișinău. 2010.33p.
29. GLOBO. Ghid local de Management al BPOC. Coord. MIHĂLȚAN Florin. București. 2010. 52p.
30. HG300/2014 cu privire la aprobarea Programului național de prevenire și control al bolilor cardiovasculare pentru anii 2014-2020 publicat: *Monitorul Oficial Nr. 104-109 art. 327*. [citat 08.11.2018] disponibil la: <https://www.legis.md/cautare/rezultate/19139>.
31. Hipertensiunea arterială la adult. Protocol clinic național (PCN-1). Ministerul Sănătății al Republicii Moldova Chișinău, 2016, 66p. [citat 03.07.2017] disponibil: [http:// 89.32.227.76/files/15279-PCN-1%2520HTA%2520%252B%2520FA%2520%2528finalizat%2529.pdf](http://89.32.227.76/files/15279-PCN-1%2520HTA%2520%252B%2520FA%2520%2528finalizat%2529.pdf).

32. 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*. [cit 22.04.2017] disponibil: https://www.who.int/goe/policies/moldova_Strategia-eSanatate-si-Planul-de-implementare2020.pdf?ua=1.
33. IAVORSCHI, C., HAIDARLI, I. Structura mortalității prin maladiile aparatului respirator în Republica Moldova în perioada 2013-2017. *Revistă științifico-practică INFO-MED „Tendențele fenomenelor demografice din Republica Moldova și păstrarea genofondului Țării”*. 2018. nr. 2 (32). pp.63-64.
34. Impactul schimbărilor climatice asupra sănătății oamenilor, a animalelor și a plantelor COMISIA COMUNITĂȚILOR EUROPENE. Bruxelles. COM(2009) final 21 p.
35. Istoria telemedicinii. Publicat de Clinica medicala Med-Telesystems. [cit 13.03.2020] disponibil: http://www.sfatulmedicului.ro/clinici/med-telesystems_3025/articole/istoriatelemedicinii_551.
36. IT versus COVID-19: Telemedicina – noua soluție pentru sistemul medical post-criză. In: Agora.md. 2020, 12 Mai. [cit 05.09.2020] disponibil: <https://agora.md/stiri/71043/it-versus-covid19-telemedicina-%E2%80%93-noua-solutie-pentru-sistemul-medical-pos>.
37. IURII, Anna. Statistică alarmantă: Maladiile careucid pe capete moldovenii. In: Sputnik.md. 2020, 5 februarie. [cit 11.06.2020] disponibil: <https://sputnik.md/analytics/20200205/29083544/Statistic-alarmanta-Maladiile-ucid-pe-capete-moldovenii.html>.
38. În Moldova a fost lansată în premieră o aplicație mobilă de monitorizare a tratamentului la distanță. In : PAS.md. 2020, 13 mai. [cit 21.08.2020] disponibil: <https://www.pas.md/ro/PAS/News/Details/104>.
39. LOZAN, Oleg. Probleme conceptuale de dezvoltare a telemedicinii în Republica Moldova. In: *Anale Științifice ale USMF “Nicolae Testemițanu”*. Ed. a 10-a. Chișinău: CEP Medicina, 2009, vol. 2: Probleme actuale de sănătate publică și management, pp. 143-147.
40. LOZAN, Oleg. Tehnologii telemedicale în sistemul educațional și de sănătate. autoref. tezei de dr. hab. în med., Chișinău. 2012. 23 p.
41. LUPU, Robert-Gabriel. Tehnici noi de prelucrare și transmitere eficientă a informațiilor în aplicații de telemonitorizare în medicină, Rezumatul tezei de doctorat, Iași 2011, p.62.
42. MEDCARE – Internet for „e-Health”, sistem de telemedicină pentru achiziția, transmisia și analiza electrocardiografei prin Internet. (proiect finanțat în Programul Cadru 5 al U.E., disponibil: www.euroines.com. INES 2001-32316, 2002-2003.
43. MEREUȚĂ, I., POPESCU, C. Fenomenele demografice în Republica Moldova, 1980-2016. *Revistă științifico-practică INFO-MED „Tendențele fenomenelor demografice din Republica Moldova și păstrarea genofondului Țării”*. 2018. nr. 2 (32). pp.14-29.

44. Ministerul Sănătății al Republicii Moldova - Ziua Mondială a Sănătății – „Ține tensiunea arterială sub control”. [cit 31.10.2020] disponibil: <http://old2.ms.gov.md/?q=stiri/ziua-mondiala-sanatatii-tine-tensiunea-arteriala-sub-control>.
45. MIULESCU, Răzvan. OMS avertizează – România ocupă primul loc în ceea ce privește rata mortalității datorată bolilor cardiovasculare!. In: Secretele.com. 2018, 21 ianuarie. [cit 06.07.2020] disponibil: <https://secretele.com/2018/01/oms-avertizeaza-romania-ocupaprimul-loc- ceea-ce-priveste-rata-mortalitatii-datorata-bolilor-cardiovasculare.html>.
46. MUNTEANU, Mihai. Teză de abilitare: Metode de procesare a semnalelor medicale bazate pe implementarea Hardware și Software a algoritmilor matematici și ingineresti. 2014. Cluj-Napoca. 67 p.
47. MUSTĂȚĂ, Mirela. Istoria telemedicinii. 2019, 27 Mai. In: E-asistent.ro. [cit 06.07.2020] disponibil: <https://www.easistent.ro/?p=5230>.
48. NEAGU, Alina. 4 români mor în fiecare oră din cauza unui accident vascular cerebral. Medicii cer finanțare și centre noi, pentru a putea reduce numărul deceselor. In: HotNews.ro. 2019, 2 iulie. [cit 12.10.2019] disponibil la: <https://www.hotnews.ro/stiri-sanatate-23235497-4-romani-mor-fiecare-ora-din-cauza-unui-accident-vascular-cerebral-medicii-cer-finantare-centre-noi-pentru-putea-reduce-numarul-deceselor.htm>.
49. NEGARĂ, A., GREJDIANU T., MARGINE, L., BĂDAN, V., ȘORIC, G. Dimensiunile morbidității cardiovasculare la vârstnici din mediul rural. In: *Revistă științifico-practică INFO-MED "Tendențele fenomenelor demografice din Republica Moldova și păstrarea genofondului Țării"*. 2018. nr. 2 (32). pp.58-60. ISSN:1810-3936.
50. Next CARDIO. Fișa proiectului. [cit 5.06.2016] disponibil la: <http://nextcardio.ro/cercetare/despre-proiect>.
51. Noutățile din domeniul afecțiunilor cronice netransmisibile, prezentate la Congresul Național Bolile Cronice Netransmisibile 2018. 2017, 1 martie. [cit 16.08.2019] disponibil: <https://rohealthreview.ro/noutatile-din-domeniul-afectiunilor-cronice-netransmisibile-prezentate-la-congresul-national-bolile-cronice-netransmisibile-2018/>.
52. PALADI, Gh., PENINA, O., Unele aspecte demografice ale procesului de îmbătrânire demografică în Republica Moldova. *Simpozionul internațional "Probleme demografice ale populației în contextul integrării europene"*, Chișinău, 2005, pp. 16-23.
53. PAVEL, Adriana. Romania are cea mai mare mortalitate prin AVC din Europa. In: Formare Medicală.ro. 2019, 28 octombrie. [cit 12.11.2019] disponibil: <https://www.formaremedicala.ro/romania-are-cea-mai-mare-mortalitate-prin-avc-din-europa/>.

54. PĂTRAȘCU, Natalia. Hipertensiunea arterială. Ce aduc nou ghidurile actualizate?. In: medichub.ro. 2018, 14 septembrie. [citat 12.10.2019] disponibil: <https://www.medichub.ro/reviste/medic-ro/hipertensiunea-arteriala-ce-aduc-nou-ghidurile-actualizate-id-1899-cmsid51>.
55. POPOVICI, M., IVANOV, V., RUDI, V., CIOBANU, N., JALBĂ, P. Prevalența și impactul morbid al celor mai potenți factori de risc în populația rurală a Republicii Moldova. In: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științe medicale*, 2006. 1 (5): p.12-20. ISSN 1587-0001.
56. 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.
57. Propunere de regulament al parlamentului european și al consiliului privind instituirea unui program „Sănătate pentru creștere economică”, al treilea program multianual de acțiune a UE în domeniul sănătății pentru perioada 2014-2020. Bruxelles, 9.11.2011 COM 709 final.
58. Pulsoximetrie Globală Manualul Proiectului. Organizația Mondială a Sănătății, 2009. 31p.
59. PUȘCOCI, Sorin, STOICU-TIVADAR, Lăcrămioara , ȘERBĂNESCU, Florin, BĂJAN, Flavius, BOGDAN Ion, IONIȚĂ, Silviu, CIORTAN, Cristian. TELEASIS – platformă integrată pentru teleasistență la domiciliu. In: *Revista Telecomunicații*, nr.1. 2010.
60. Raport privind îmbătrânirea populației 2009: Proiecții economice și bugetare pentru 27 state membre ale Uniunii Europene (2008-2060). Luxembourg, 2009. ISSN 0379-0991.
61. Raportul Științific și Tehnic al proiectului CARDIONET Predat 30.09.2008 disponibil la: https://cardionet.utcluj.ro/Raport_tehnic_et2.pdf.
62. Reabilitarea medicală a bolnavului cu accident vascular cerebral. *Protocol clinic național PCN – 181*. Ministerul Sănătății al Republicii Moldova. Chișinău. 2012. 68 p.
63. ROTARIU, C. Sisteme de telemonitorizare a parametrilor vitali, Editura “Gr. T Popa” UMF Iași, 2009, ISBN 978-606-544-011-1.
64. ROTARIU, C. Monitorizarea de la distanță a parametrilor vitali folosind sisteme înglobate. Rezumatul tezei de doctor. Iași, 2010.67p.
65. 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-pest-500/>.
66. Serviciu integrat de diagnostic multidisciplinar folosind platforme de Telemedicina studiu de piață SC GNOSIS EVOMED SRL, Proiect MULTIMED POSCCE O 2.3.3, contract 510/SMIS 47522 disponibil la : <https://docplayer.fr/53633736-Serviciu-integrat-de-diagnostic-multidisciplinar-folosind-platforme-de-telemedicina.html>.

67. Specialiștii avertizează populația referitor la bolile de plămâni. In: Ziare.com. 2011, 17 Noiembrie. [citat 2.10.2017] disponibil: <https://ziare.com/viata-sanatoasa/boli/specialistii-avertizeaza-populatia-referitor-la-bolile-de-plamani-1134283>.
68. Statistici alarmante de Ziua Inimii. Bolile cardiovasculare au ucis aproape 22.000 de moldoveni, în 2019. In: Agora.md. 2019, 29 septembrie. [citat 05.10.2020] disponibil: <https://agora.md/stiri/62145/statistici-alarmante-de-ziua-inimii--bolile-cardiovasculare-au-ucis-aproape-22-000-de-moldoveni--in-2019>.
69. Statistică înspăimântătoare: Boala care îi seceră pe moldoveni. In: Sputnik.md. 2017, 15 noiembrie. [citat 05.09.2018] disponibil la : <https://sputnik.md/society/20171115/15588258/decese-boli-cardiovasculare-moldova-europa.html>.
70. STILPEANU, Diana-Maria. Telemedicina | un mijloc eficient de a comunica cu pacienții în carantină. In: 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>.
71. SZAKÁCS-SIMON, Péter. Monitorizarea persoanelor într-un mediu inteligent, Autoreferatul tezei de doctorat, BRAȘOV, 2013, p.57.
72. 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/>.
73. Tehnologia care îți poate salva viața de acasă, chiar și când medicul este în altă țară. Cum poate fi folosită telemedicina. In: wall-street.ro..2016, 20 mai. [citat 08.07.2018] disponibil la: <https://www.wall-street.ro/special/smart-city/198599/tehnologia-care-iti-poate-salva-viata-de-acasa-cum-poate-fi-folosita-telemedicina-de-medici-si-pacienti.html#gref>.
74. TELEASIS. Sistem complex, pe suport NGN pentru teleasistență la domiciliu a persoanelor în vârstă. Rezumatul proiectului. [citat 08.07.2018] disponibil: <http://www.inscc.ro/proiecte/telesasis/en/index.php?page=obiective>.
75. Telemedicina – o „cultură” în creștere pe piața asigurărilor de sănătate. In : Medihelp.ro. 2017, 10 februarie. [citat 09.03.2018] disponibil la: <https://www.medihelp.ro/blog/sanatate/telemedicina-o-cultura-in-crestere-pe-piata-asigurarilor-de-sanatate/>.
76. Telemediq– sistem de monitorizare la distanță a pacienților cu afecțiuni cronice. In : eHealthROMÂNIA.com. 2018, 26 iunie. [citat 14.10.2018] disponibil: <https://ehealthromania.com/telemediq-sistem-de-telemonitorizare-afectiuni-cronice/>.
77. TELMES - Platforma multimedia pentru implementarea teleserviciilor medicale complexe”. Proiect CEEEX 2005-2007. Disponibil: <http://www.inscc.ro/proiecte/telmes/ro/index.html>.

78. URSU, Valentina. Stanislav Groppa: în R. Moldova „este o epidemie a bolilor vasculare cerebrale. In : Radio Europa Liberă Moldova. 2019, 16 septembrie. [citât 12.12.2019] disponibil: <https://moldova.europalibera.org/a/stanislav-groppa-%C3%AEn-r-moldova-este-o-epidemie-a-bolilor-vasculare-cerebrale-/30163767.html>.
79. Vârșnicii în Republica Moldova în anul 2013. Republica Moldova : Biroul Național de Statistică, 2014. [citât 5.06.2016] disponibil: <https://statistica.gov.md/newsview.php?=ro&idc=168&id=4529>.
80. VÎNTU, Alexandru, MATEI, Costel. Telemedicina în insuficiența cardiacă. In: Viața Medicală.ro 2017, 17 noiembrie. [citât 17.12.2018] disponibil: <https://www.viata-medicala.ro/dosar/telemedicina-in-insuficienta-cardiaca-13919>.
81. VOINEA, Amelia. #EHRA2019. Studiu: Monitorizarea la distanță a pacienților cu insuficiență cardiacă scade rata de spitalizare. In: Raportul de Gardă.ro. 2019,21 Martie. [citât 06.12.2019] disponibil: <https://raportuldegarda.ro/articol/ehra2019-monitorizarea-distanta-ic-scade-spitalizarea>.
82. ABRAHAM, WT, STEVENSON, LW, BOURGE, RC, LINDENFELD, JA, BAUMAN, JG, et all. Trial Study Group. Sustained efficacy of pulmonary artery pressure to guide adjustment of chronic heart failure therapy: complete follow-up results from the CHAMPION randomized trial. In: *Lancet*. 2016 Jan 30;387(10017). pp. 453-461.
83. ADIBI, S. ed. Mobile Health: A Technology RoadMap. Switzerland: *Springer International Publishing*,2015. 1172p. ISBN 978-3-319-12817-7
84. ADITI, PAI IHS: About 4M patients will use remote patient monitoring technologies by 2020. In: *mobihealthnews.com*. 2015, 11 August. [cited 11.08.2017] disponibil: <https://www.mobihealthnews.com/46009/ihs-about-4m-patients-will-use-remote-patient-monitoring-technologies-by-2020>.
85. ADS129X Low-Power, 2-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements. SBAS502C - December 2011 - Revised April 2020, Texas Instruments.
86. Aerotel Medical Systems: Heartline ECG Monitoring [cited 16.06.2016] disponibil: <https://www.aerotel.com/index.php/en/products-and-solutions/heartline-ecg-monitoring>.
87. ALTUN, B, ARICI, M., NERGIZOĞLU, G., DERICI, U., KARATAN, O., TURGAN, C. et al. Prevalence, awareness, treatment and control of hypertension in Turkey (the PatenT study) in 2003. In: *J Hypertens*. 2005 Oct; 23 (10). pp.1817–23.
88. AMIT, K. Gupta. Respiration rate measurement based on impedance pneumography. Application report SBAA181. February 2011. Texas Instruments.

89. ANLIKER, U., WARD, J.A., LUKOWICZ, P. ET. AL. AMON: a wearable multiparameter medical monitoring and alert system. In: *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. Vol. 8 (4)2004. p. 415 – 427. ISSN, 1089-7771
90. AOYAGI, T., FUSE, M., KOBAYASHI, N., MACHIDA, K., MIYASAKA, K. Multi wave length pulseoximetry: theory for the future. In: *Anesth. Analg.*105(6) (2007) pp. 53–58. ISSN: 0003-2999.
91. AOYAGI, T., Pulseoximetry: its invention, theory, and future. In: *J. Anesth.* 17 (4) (2003) pp. 259–266. ISSN: 0913-8668
92. ATOUI, H., FAYN, J., RUBEL, P. A Neural Network Approach for Patient-specific 12-lead ECG Synthesis in Patient Monitoring Environments. In: *Computers in Cardiology* 2004.
93. 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.
94. BABIC, B., BAGATIN, J., KOKIC, S., OSTOJIC, S., CAREVIC, V., BEROVIC, N. Comparison between Continuous Ambulatory Arterial Blood Pressure Monitoring and Standard Blood Pressure Measurements among Patients of Younger and Older Age Group. In: *CollegiumAntropologicum*. 2009, 33 (1) pp.65-70.
95. BACH, AJE., STEWART, IB., DISHER, AE., COSTELLO, JT. (2015) A Comparison between Conductive and Infrared Devices for Measuring Mean Skin Temperature at Rest, during Exercise in the Heat, and Recovery. In: *PLoS ONE* 10(2):e0117907.doi:10.1371/journal.pone.0117907.
96. BANEGAS, JR., LOPEZ-GARCIA, L., DALLONGEVILLE, J ET AL. Achievement of treatment goals for primary prevention of cardiovascular disease in clinical practice across Europe: the EURIKA study. In: *EurHeart J.* 2011, 32(17). pp. 2143-2152.
97. BASHFORD, Curtis. "Development of a multi-lead trans-thoracic impedance pneumograph for heart rate variability studies" (1995). *Theses*. 1144. disponibil la: <https://digitalcommons.njit.edu/theses/1144>.
98. BCC Research: Global Markets for Telemedicine Technologies, 2012. [cited 26.08.2016] disponibil la: <https://www.bccresearch.com/market-research/healthcare/telemedicine-technologies-global-markets-report-hlc014h.html>.
99. BEALE, S., SANDERSON, D., KRUGER, J. Evaluation of the Telecare development Programme. Final Report. Edinburgh: Scottish Government, 2009. p.115.
100. BENNET, A.M. et al., Telehealth Handbook. A Guide to Telecommunications Technology for Rural Health Care, US Department of Health, Education and Welfare, Publ. No. (PHS) 78-3210, 1978.

- 101.BENNIS, FC., VAN PUL C., VAN DEN BOGAART J.J., ANDRIESSEN, P., KRAMER, BW., DELHAAS, T. (2019) Artifacts in pulse transit time measurements using standard patient monitoring equipment. *PLoS ONE* 14(6): e0218784. disponibil la: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218784>.
- 102.BHARGAVI, Nisarga. Revised Pulsoximeter Design Using the MSP430, Application Report SLAA458, Texas Instruments Incorporated, June 2010.
- 103.BHAVIRISETTY, Ravi Teja. Calculation of Blood Pulse Transit Time from PPG. Thesis of Bachelor of Technology. Rourkela: National Institute of Technology, 2012.
104. BOCK, M., HOHLFELD, U., ENGELN, K., MEIER, P., MOTSCH J., TASM, A. The accuracy of a new infrared ear thermometer in patients undergoing cardiac surgery. In: *Canadian Journal of Anesthesia*, 2005.52:10. pp1083-1087 ISSN: 0832-610X.
- 105.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.
- 106.British Thoracic Society The burden of lung disease: a statistical report from the British Thoracic Society. 2nd ed. London: British Thoracic Society, 2006.
- 107.CAPRI, M., SALVIOLI, S., SEVINI, F. Et al. The genetics of human longevity. In: *Ann NY Acad. Sci.*, 2006. 1067.pp. 252-263.
- 108.CHAN, V., UNDERWOOD, S. A Single-Chip Pulsoximeter Design Using the MSP430, SLAA274–Texas Instruments Incorporated. November, 2005.
- 109.CHOW, C.K., TEO, K.K., RANGARAJAN, S., ISLAM, S., GUPTA, R., AVEZUM, A., et. all. PURE Study Investigators. Prevalence, awareness, treatment, and control of hypertension in rural and urban communities in high-, middle-, and low-income countries. In: *JAMA* 2013, Sep 4; 310(9):959-968. PMID: 24002282.
- 110.CLARK, R.A., et al. Telemonitoring or structured telephone support programmes for patients with chronic heart failure: systematic review and meta-analysis. In: *BMJ*. 2007 May 5;334(7600):942. Epub 2007 Apr 10. PMID: 17426062; PMCID: PMC1865411.
- 111.CLARKE, M., SHAH, A., SHARMA, U. Systematic review of studies on telemonitoring of patients with congestive heart failure: a meta-analysis. In: *J Telemed Telecare*. 2011;17(1):7-14. doi: 10.1258/jtt.2010.100113. Epub 2010 Nov 19. PMID: 21097564.
- 112.CodeBlue – Wireless Sensor Networks for Medical Care. disponibil la: <http://fiji.eecs.harvard.edu/CodeBlue>
- 113.COSTIN, N., ROTARIU, C., et al., TELEMON – Complex System for Real Time Medical Telemonitoring of Vital Signs, Advancements of Medical Bioengineering and Informatics,

- Proc. of the International Conference on e-Health and Bioengineering - EHB 2009.* pp.17-23. ISSN 2066-7590.
114. CRUICKSHANK, J., HARDING, J., PAXMAN, J., MORRIS, Ch. *Making Connections* Published by 2020 health.org. 2013. ISBN No: 978-1-907635-30-4
 115. CRUICKSHANK, J. *Telehealth: What can the NHS learn from experience at the US Veterans Health Administration?* In: *J. Telehealth*. January, 2012. Published January 2012 by 2020health.org ISBN No: 978-1-907635-19-9
 116. DAO, D. K., KRISHNAN, S. *Design of Lab Experiments on Signal Processing Applied to Solving Biomedical Problems*. Wentworth Institute of Technology, Boston, Fall 2010 Mid-Atlantic ASEE Conf., October 15-16, Villanova University, 2010.
 117. DARKINS, A., RYAN, P. KOB, R., FOSTER, L., EDMONSON, E., et al. *Care coordination /home telehealth: the systematic implementation of health informatics, home telehealth, and disease management to support the care of veteran patients with chronic condition*. In: *J. Telemedicine and e-health*. 2008. no. 14 (10). pp. 1118–1126.
 118. DE MARCO, R., ACCORDINI, S., CERVERI, I., CORSICO, A., SUNYER, J., NEUKIRCH, F., KÜNZLI N, et al. *An international survey of chronic obstructive pulmonary disease in young adults according to GOLD stages*. In: *Thorax* 2004, 59(2). pp.120-125.
 119. DING, X., YAN, B.P., ZHANG, Y.T., LIU, J., ZHAO, N., TSANG, H.K. *Pulse Transit Time Based Continuous Cuffless Blood Pressure Estimation: A New Extension and A Comprehensive Evaluation*. In: *Scien. Rep.*, 2017, Vol.7(1):11554. PMID: 28912525.
 120. DOROBANTU, M., DARABONT, R. O., BADILA, E., GHIORGHE, S. *Prevalence, Awareness, Treatment, and Control of Hypertension in Romania: Results of the SEPHAR Study*. In: *International journal of hypertension*, 2010 Article ID 970694.
 121. DOROBANTU, M., DARABONT, R., GHIORGHE, S., BABES, K., POP, D., et al. *Profile of the Romanian hypertensive patient data from SEPHAR II study*. In: *Rom J Intern Med*. 2012 Oct-Dec;50(4). pp. 285-96. PMID: 23610976.36.
 122. DOROBANTU, M., DARABONT, R., GHIORGHE, S., et al. *Hypertension prevalence and control in Romania at a seven-year interval. Comparison of SEPHAR I and II surveys*. In: *J Hypertens*. 2014 Jan; 32(1) pp. 39-47.
 123. EMDIN, C.A., RAHIMI, K., NEAL, B., CALLENDER, T., PERKOVIC, V., PATEL, A. *Blood pressure lowering in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis*. In: *JAMA*. 2015 Feb 10;313(6) pp. 603-15.doi:10.1001/jama.2014.18574.

- 124.ERIXON, F. FERRACANE, M., F., ERIK VAN DER MAREL. The Health of Nations: A Transatlantic Trade and Investment Agenda for Better Healthcare. In: *Ecipe Occasional Paper*, No. 02. 2015, p.38.
- 125.ESTES, M. III. Predicting and preventing sudden cardiac death. In: *Journal Circulation*. 2011, Vol.124, No 5. pp. 651–656.
- 126.European Commission. Strategic Plan 2016-2020. DG Health and Food Safety. Ref. Ares (2016)2075174 - 02/05/2016 2016. 49 p.
- 127.European Commission. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. e-Health Action Plan 2012-2020: Innovative healthcare for the 21st century. COM(2012) 736 final. Brussels. 6.12.2012, 14p.
- 128.FAGERBERG, Johan, KURKINEN, Lars. m-Health and Home Monitoring, M2M Research Series. [cited 12.03.2019] disponibil la <http://www.healthworkcollective.com/wp-content/uploads/2014/07/bi-mhealth6-ps.pdf>.
- 129.FOROUZANFAR, M.H., LIU, P., ROTH, G.A., NG, M., BIRYUKOV, S., MARCZAK, L., ALEXANDER, L. et al. Global burden of hypertension and systolic blood pressure of at least 110 to 115 mm Hg, 1990-2015. In: *JAMA* 2017,317(2). pp.165–182.
- 130.GALLAGHER, James. Work stress 'raises heart risk'. In: BBCNews.com. 2012, 14 September. [cited 05.07.2017] disponibil: <https://www.bbc.com/news/health-19584526>
- 131.GAZIANO, T.A., BITTON, A., ANAND, S., WEINSTEIN, M.C. The global cost of non-optimal blood pressure. In: *Journal Hypertens.*, 2009, 27(7). pp.1472-1477.
- 132.GHEORGHIAD, M., VADUGANATHAN, M., FONAROW, G.C., BONOW, R.O. Re-hospitalization for heart failure: problems and perspectives. In: *J. Am CollCardiol*. 2013 Jan, Vol. 61 (4). pp.391-403
- 133.Global Atlas on cardiovascular disease prevention and control. World Health Organization; World Heart Federation; World Stroke Organization, Geneva, 2011, pp. 164.ISBN:978-92-4-156437-3.
- 134.Global Health Estimates 2016: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2016. Geneva, World Health Organization, 2018.
- 135.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>.
- 136.Global Market Insight: Digital Health Market Size by Technology. [cited 20.10.2020] disponibil la: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-health-market>

- 137.GONZÁLEZ, F. The Epidemiology of Coronary Heart Disease. In: *Rev. Española Cardiol. English Ed.*, Feb. 2014, vol. 67, no. 2, pp. 139–144.
- 138.GONZÁLEZ, J. Freescale Solutions for Electrocardiograph and Heart Rate Monitor Applications, Freescale Semiconductor, Application Note AN4323, Rev. 1, 2013.
- 139.GRENVIK, A., BALLOU, S., MCGINLY, E., COOLEY, W.L., SAFAR, P. Impedance pneumography: Comparison between chest impedance changes and respiratory volumes in 11 healthy volunteers. In: *Chest*, vol 62, pp. 439-443. ISSN:0012-3692.
- 140.HAJAR, R. Risk Factors for Coronary Artery Disease: Historical Perspectives. In: *Heart Views*. 2017, vol. 18, no. 3, pp. 109–114.
- 141.HAUSFATER, P, ZHAO, Y, DEFRENNE, S, BONNET, P, RIOU, B. Cutaneous Infrared Thermometry for Detecting Febrile Patients. In: *Emerg Infect Dis*. 2008, No. 14(8). pp.1255-1258. <https://dx.doi.org/10.3201/eid1408.080059>
- 142.HINDRICKS, G., et al. Implant-based multiparameter telemonitoring of patients with heart failure (IN-TIME): a randomized controlled trial. In: *Lancet*. 2014 Aug 16, No.384 (9943). pp.583-590.
- 143.HOONSEOK, L., HOON K., JINSEOK L. Reflectance pulseoximetry: Practical issues and limitations, Department of Biomedical Engineering, Wonkwang University College of Medicine, Iksan, Republic of Korea, October 2016, pp.1- 4.
- 144.How to Measure Body Temperature Using the Health Sensor Platform, Application Note 6502: Maxim Integrated Products Inc. 2014.
- 145.INGLIS, S.C., et al. Structured telephone support or telemonitoring programmes for patients with chronic heart failure. In: *CochraneDatabaseSyst Rev*. 2010 Aug 4, No. (8):CD007228
- 146.JELAKOVIĆ, B., DIKA, Z., KOS, J., PEĆIN, I., LAGANOVIĆ, M., JOVANOVIĆ, A., et al., Treatment and control of hypertension in Croatia. The BEL-AH study. *LijecVjesn*. 2006 Nov-Dec., Vol. 128 (11–12). pp.329–333.
- 147.JIE, Y., HOUJIN, H., MENGXUE Y., WEI, Q., JIE, X. A timeseries analysis of meteorological factors and hospital outpatient admissions for cardiovascular disease in the Northern district of Guizhou Province, China. In: *Braz J Med Biol Res*,2014. vol.47 no.8. pp. 689-696. ISSN 1414-431X.
- 148.KAWAGUCHI, T., AZUMA, M., OHTA, K. Development of a telenursing system for patients with chronic conditions. In: *J. TelemedTelecare*2004. pp.239-244.
- 149.KEARNEY, P.M., WHELTON, M., REYNOLDS, K. Et al. Global burden of hypertension: analysis of worldwide data. In: *Lancet*. 2005. pp. 217-223.
- 150.KEJIA, LI. Wireless reflectance pulseoximeter design and photoplethysmographic signal processing. Thesis master of science. Kansas State University. Manhattan, Kansas 2010.

- 151.KIDHOLM, K., EKELAND, A.G., JENSEN L.K., RASMUSSEN, J. et al. A model for assessment of telemedicine applications: mast. In: *Int J TechnolAssessHealth Care*,2012. Jan, No. 28(1). pp. 44-51.
- 152.KLABUNDE, R., Cardiovascular Physiology Concepts: Mean Arterial [cited 07.11.2018] disponibil la: <https://www.cvphysiology.com/Blood%20Pressure/BP006.htm>.
- 153.KLERSY, C et al. A meta-analysis of remote monitoring of heart failure patients. In: *J Am CollCardiol*. 2009 Oct 27, 54(18). pp.1683-1694.
- 154.KOEHLER, F., et al. Impact of remote telemedical management on mortality and hospitalizations in ambulatory patients with chronic heart failure: the telemedical interventional monitoring in heart failure study. In: *Circulation*. 2011 May 3, No.123 (17). pp.1873-1880.
- 155.KOVATS, R.S., HAJAT, S. Heat Stress and Public Health: A Critical Review. In: *Annu. Rev. Public. Health*. 2008, vol. 29. pp. 41-55.
- 156.LANG, I.M, BADR-ESLAM, R., GREENLAW, N., YOUNG, R., STEG, P.G. Management and clinical outcome of stable coronary artery disease in Austria, Wien. In: *Klin. Wochenschr* 2017, vol. 129, no. 23–24, pp. 879–892.
- 157.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.
- 158.LEFEVRE, M. ACC/AHA Hypertension guideline: What is new? What do we do? In: *Am Fam. Physician*. 2018 Mar 15, No. 97 (6). pp.372-373.
- 159.LEFRANT, J-Y., MULLER, L., EMMANUEL DE LA COUSSAYE, J., BENBABAALI, M., LEBRIS, C., et al. Temperature measurement in intensive care patients: comparison of urinary bladder, oesophageal, rectal, axillary, and inguinal methods versus pulmonary artery core method. In: *Intensive Care Medicine* 2003., No. 29 (3). pp.414-418. ISSN 0342-4642.
- 160.LIBERSON, A. Relation of a Pulse Transit Time to the Blood Pressure in Bifurcated Cardiovascular Networks. In: *Am J Biomed Sci & Res*. 2020 - 7(2) AJBSR.MS.ID.001135. DOI: 10.34297/AJBSR.2020.07.001135. ISSN: 2642-1747.
- 161.LLISTERRI, L. JOSE, GUSTAVO, C. RODRIGUEZ-ROCA, CARLOS, ESCOBAR, F. JAVIER, ALONSO-MORENO, MIGUEL, A. PRIETO et al. Treatment and blood pressure control in Spain during 2002–2010. In: *J Hypertens*. 2012, 30(12). pp.2425–2431.
- 162.LLOYD-JONES, D., ADAMS, R., BROWN, T., CARNETHONET, M., DAI, S., et al. Executive Summary: Heart Disease and Stroke Statistics – 2010 update: a report from the American Heart Association. In: *Circulation* Feb. 2010, vol. 121, no. (7). pp. 948–954.

- 163.LOKHARAN, M., LOKESH KUMAR, K.C., HARISH KUMAR, V., KAYALVIZHI, N., ARYALEKSHMI, R. Measurement of Pulse Transit Time (PTT) Using Photoplethysmography. In: *Springer Nature Singapore* Pte Ltd. 2017 J. Goh et al. (eds.), *IFMBE Proceedings* 61, Springer, Singapore DO I: 10.1007. I/978-981-10-4220-1_24.
- 164.LÓPEZ-CAMPOS, Jose Luis et al. Mortality trends in chronic obstructive pulmonary disease in Europe, 1994–2010: a join point regression analysis. In: *The Lancet Respiratory Medicine*, 2014, vol. 2, no. 1. pp. 54–62.
- 165.LORINCZ, K., MALAN, D.J., FULFORD-JONES, T.R.F., NAWOJ, A., CLAVEL, A., SHNAYDER, V., MAINLAND, G., WELSH, M., MOULTON, S. Sensor networks for emergency response: challenges and opportunities. In: *Pervasive Computing*, IEEE, 2004 Volume 3, pp. 16–23. ISSN:1536-1268.
- 166.Lung diseases cause one in 10 deaths across Europe. In: BBC.com. 2013, 06 September. [cited 12.03.2019] disponibil: <https://www.bbc.com/news/health-23971689>.
- 167.MABO, P. Home Monitoring for Pacemaker Follow-Up: The First Prospective Randomised Trial. Presentation. In: *Cardiostim 2010*, The 17th World Congress in Cardiac Electrophysiology and Cardiac Techniques. Nice Acropolis, France, June 16–19. ISSN:1099-5129.
- 168.MACKOWIAK, P. A., WASSERMAN, S. S., LEVINE M. M. (1992-09-23). A critical appraisal of 98.6 °F (37.0 °C), the upper limit of the normal body temperature, and other legacies of Carl Reinhold August Wunderlich. In: *JAMA* No. 268 (12), pp.1578–1580. ISSN: 1538-3598. PMID: 1302471.
- 169.MALLAT, S.G., ITANI, H.S., TANIOS, B.Y. Current perspectives on combination therapy in the management of hypertension. In: *Integr Blood Press Control*. 2013. No. 6. pp. 69-78.
- 170.MANCIN, S., SACCAVINI, C., DARIO, C., CENTIS, G. Telemedicine for the remote monitoring of patients with chronic disease: European Project RENEWING HEALTH. In: *Int J Cars*, 2011. Vol. 6 (Suppl 1). pp. 305-366.
- 171.MANCIN, M., CENTIS G. Integration of telehealth and telecare: the implementation model for chronic disease management in the Veneto Region. In: *Stud Health Technol Inform*. 2014, Vol. 200. pp.56-61.
- 172.MANCIA, G., DE BACKER, G., DOMINICZAK, A., et al, Guidelines for the Management of Arterial Hypertension. The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). In: *Journal of Hypertension* 2007.No. 25(6). pp. 1105-1187.
- 173.MARIT, H. N. van VELZEN, ARJO, J. LOEVE, SJOERD, P. NIEHOF, EGBERT G. MIK. Increallising accuracy of pulse transit time measurements by automated elimination of

- distorted photoplethysmography waves. In: *Med Biol Eng Comput* (2017) No. 55(11). pp. 1989–2000. PMID: PMC5644691.
174. MAX30100 Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health. Datasheet 19-7065 Rev 0. Maxim Integrated, 2014 p.29.
 175. MAX30205 Human Body Temperature Sensor. Datasheet 19-8505, Rev 0, Maxim Integrated, 2016. p.15.
 176. MENDELSON, Y., Pulseoximetry: theory and applications for noninvasive monitoring, In: *Clin. Chem.* 1992, No.38 (9). pp.1601–1607. ISSN: 0009-9147. PMID: 1525987.
 177. mHealth: New Horizons for Health through Mobile Technologies: Based on the Findings of the Second Global Survey on e-Health Volume 3. 2011. WHO. ISBN: 978-92-4-156425.
 178. MOZAFFARIAN, D., BENJAMIN, E.J., GO, A.S., ARNETT D.K., BLAHA M.J., CUSHMAN, M., DAS, S.R., et al.- Heart Disease and Stroke Statistics—2016 Update. In: *Circulation*, 2016, Jan. Vol. 133, no. 4, pp. 338-360.
 179. MURRAY, C.J.L., LOPEZ, A.D. Alternative projections of mortality and disability by cause 1990-2020: Global Burden of Disease Study. In: *Lancet*, 1997, May 24; 349 (9064). pp. 1498 1504) doi: 10.1016/S0140-6736(96)07492-2. PMID: 9167458.
 180. NCD Risk Factor Collaboration. Worldwide trends in blood pressure from 1975 to 2015: a pooled analysis of 1479 population-based measurement studies with 19.1 million participants. In: *Lancet* 2017, No.389. pp.37–55.
 181. NICHOLS, M., TOWNSEND, N., LUENGO-FERNANDEZ R., LEAL J., GRAY A., SCARBOROUGH, P., RAYNER, M. European Cardiovascular Disease Statistics 2012. European Heart Network, Brussels, European Society of Cardiology, Sophia Antipolis. September 2012. ISBN:978-2-9537898-1-2.
 182. NIMAH, M., BSHEESH, K., CALLAHAN, J., JACOBS B. Infrared tympanic thermometry in comparison with other temperature measurement techniques in febrile children. In: *Journal of Pediatric Critical Care Medicine*, Jan. 2006, Vol. 7(1), pp.48-55. ISSN:1529-7535. PMID: 16395075.
 183. PAN, J., TOMPKINS, W.J. A real-time QRS detection algorithm. In: *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 1985. Vol. BME-32, No.3. pp. 230-236. ISSN: 1558-2531.
 184. PARÉ, G., JAANA, M., SICOTTE C. Systematic review of home telemonitoring for chronic diseases: the evidence base. In: *J AM Med Inform Assoc.* 2007, No.14(3). pp. 269-277. PMID: PMC2244878.
 185. PAUWELS, R.A., RABE, K.F. Burden and clinical features of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). In: *Lancet* 2004 Aug 14-20, Vol.364(9434). pp. 613-620. PMID: 15313363.

- 186.PEREIRA, M., LUNET, N., AZEVEDO, A., BARROS, H. Differences in prevalence, awareness, treatment and control of hypertension between developing and developed countries. In: *J Hypertens* 2009. Vol.27 (5). pp. 963-97. PMID: 19402221.
- 187.PRAVEEN, Aroul. Miniaturized Pulse Oximeter Reference Design, Getting Started Guide, TIDA-00311, Health Tech, Texas Instruments. June 2014.
- 188.PRESCHER, S. et al. Telemedical care: feasibility and perception of the patients and physicians: a survey-based acceptance analysis of the Telemedical Interventional Monitoring in Heart Failure (TIM-HF) trial. In: *Eur J Prev Cardiol*, 2013 Jun. Vol. 20 (2 Suppl). pp.18-24. PMID: 23702987.
- 189.PRUTCHI, D., NORRIS, M. Design and development of medical electronic instrumentation: A practical perspective of the design, construction, and test of medical devices. In: *Hoboken, NJ: Wiley Interscience*, 2004. p.461. ISBN: 978-0-471-67623.
- 190.PUSCOCI, S., COSTIN, H., ROTARIU, C., DIONISIE, B., SERBANESCU, F. TELMES – Regional Medical Telecentres. In: *Proc. of XVII Int. Conference on Computer and Information Science and Engineering, ENFORMATIKA* 2006 Dec, Cairo, Egipt. pp.243-246. ISSN 1305-5313.
- 191.RANGARAJ M. Biomedical Signal Analysis: A Case-Study Approach. Wiley-IEEE Press, 2002, ISBN: 978-0471208112.
- 192.Remote patient monitoring revenues to reach € 46.1 billion in 2023. In: IoT. Business. News 2019, 28 January. [cited 06.05.2019] disponibil: <http://iotbusinessnews.com/2019/01/28/22622-remote-patient-monitoring-revenues-to-reach-e-46-1-billion-in-2023>.
- 193.RENEWING HEALTH (REgionNs of Europe a WorkINg together for HEALTH) ICT for patient-centred health service project 2013. Site-ul proiectului disponibil: <https://renewinghealth.eu/>
- 194.REVICH, B., SHAPOSHNIKOV, D. Temperature-induced excess mortality in Moscow. In: *Int J Biometeorol.*,2008, No. 52. pp.367-374.
- 195.ROBERTS, L. 9 Billion? In: *Science*, 2011. Vol.333, pp. 540–543.PMID: 21798924.
- 196.ROBERTS, J., HEDGES, J. Clinical Procedures in Emergency Medicine, 4th edition and Color Atlas of Emergency Department Procedures Package. W.B. Saunders, Inc., 2004, p. 1486. ISBN: 9781416022503.
- 197.RODRIGUES, VÍTOR do NASCIMENTO Evaluation of thermometers for ear temperature measurement at the wards in a university hospital: Dissertação para obtenção do Grau de Mestrem Engenharia Biomédica Universida de Nova de Lisboa - Faculdade de Ciencias e Tecnologia, Lisboa – 2012.106p.

- 198.ROGER, V.L. — Epidemiology of Myocardial Infarction. In: *Med. Clin. North Am.*, Jul. 2007. Vol. 91, no. 4, pp. 537–559. PMID: 17640535. PMCID: PMC2537993.
- 199.ROGER, V.L., GO, A.S., LLOYD-JONES D.M. et al. American Heart Association Statistics Communittee and Stroke Statistics Subcommitte Heart disease and stroke statistics – 2012 update: a report from the American heart Association. In: *Circulation* 2012, Vol. 125 (1). pp. e2-e220.
- 200.ROGER, V.L., GO, A.S., LLOYD-JONES D.M. et al. Executive Summary: Heart Disease and Stroke Statistics – 2012 Update: A Report From the American Heart Association. In: *Circulation* 2012, Vol. 125 (1). pp. 188-197.
- 201.ROSAMOND, W., et al. Heart Disease and Stroke Statistics – 2008 Update: A Report From the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. In: *Circulation*, 2008, Vol. 117, no. 4, pp. e25-146.
- 202.RUBEL, P., FAYN, J., ATOUI, H., TÉLISSON, D. Beyond EPI-MEDICS, 2nd Open ECG Workshop, Berlin, Germany, 2004.
- 203.RUBEL, P., FAYN, J., NOLLO, G., ASSANELLI, D., LI, B., RESTIER, L., ADAMI, S., et all. Toward personal eHealth in cardiology. Results from the EPI-MEDICS telemedicine project. In: *J. Electrocardiol.*, 2005. Vol. 38 (4 Suppl.). pp. 100-106.
- 204.RUBEL, P., FAYN, J., SIMON-CHAUTEMPS, L., ATOUI, H., OHLSSON, M., TELISSON, D., et all. New paradigms in telemedicine: ambient intelligence, wearable, pervasive and personalized. In: *Stud Health Technol Inform.* 2004, Vol.108. pp.123-132.
- 205.RUIPING, W., WENYAN, J., ZHI-HONG, M., ROBERT, J. SCLABASSI, MINGUI, S. Cuff-Free Blood Pressure Estimation Using Pulse Transit Time and Heart Rate. In: *Int Conf Signal Process Proc.* 2014 October. pp. 115–118.
- 206.SANER, H., VAN DERVELDE, E. e-Health in cardiovascular medicine: A clinical update. In: *Eur J Prev. Cardiol.* 2016 Oct. Vol. 23 (2 suppl). pp.5-12.
- 207.SANG-SOO, Oak, PRAVEEN, Aroul. How to Design Peripheral Oxygen Saturation (SpO₂) and Optical Heart Rate Monitoring (OHRM) Systems Using the AFE4403. Application Report SLAA655, March 2015, Texas Instruments Incorporated. p.7.
- 208.SAUBERMAN, R., HSU, W., MACHADO, C., et al. Technical Performance and Clinical Benefit of Remote Wireless Monitoring of Implantable Cardioverter Defibrillators. In: *Heart Rhythm*, 2004. Vol.1 (1). p.215.
- 209.SERRES, Victor. AD5933-Based System for Transthoracic Impedance Measurements: Master thesis. University of Boras 2012. p. 45.
- 210.SHAHWAN, J et al. Epidemiology of coronary artery disease and stroke and associated risk factors in Gaza community– Palestine. In: *PLoSOne*, 2019. Vol. 14, no. 1, p.11.

211. SHNAYDER, V., CHEN, B., LORINCZ, K., FULFORD-JONES, T.R.F., WELSH, M. Sensor Networks for Medical Care. Technical Report TR-08-05. Division of Engineering and Applied Sciences. Harvard University. 2005. [cited 03.04.2018] disponibil la: <https://dash.harvard.edu/handle/1/24829604>.
212. SIMJANOSKA, M., GJORESKE, M., GAMS, M., MADEVSKA BOGDANOVA, A. Non-Invasive Blood Pressure Estimation from ECG Using Machine Learning Techniques. In: *Sensors* 2018, Vol. 18(4): 1160. p. 20. PMID: 29641430.
213. SINEX, J.E., Pulseoximetry: principles and limitations. In: *Amer. J. Emerg. Med.* 1999, Vol. 17 (1). pp.59–66. ISSN 0735-6757.
214. SINGH, G.M., et al. The age associations of blood pressure, cholesterol, and glucose: analyses of health examination surveys from international populations. In: *Circulation*, 2012. Vol.125 (No. 18). pp. 2204-2211. PMID: 22492580. PMCID: PMC4174463.
215. Smith's Medical Micro Power Oximeter Board. [cited 05.04.2016] disponibil la: http://www.smiths-medical.com/upload/products/pdf/oem/196002_micro-poweroximeter.pdf.
216. SONTEA, V., RAILEAN, S., VOVC, V., COSTIN, H., ZAHARIA, D., IAVORSCHI, A. High Education in Biomedical Engineering in Republic of Moldova: *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering (MBEC 2014)*, Dubrovnik, Croatia, September 7-11, 2014, IFMBE Proceedings. Volume 45, pp 1012-1014. ISBN:9783319111278.
217. SORIANO, J.B., MAIER, W.C., EGGER, P., VISICK, G., THAKRAR, B., SYKES, J., PRIDE, N.B. Recent trends in physician diagnosed COPD in women and men in the UK. In: *Thorax* 2000, Vol. 55(9). pp.789 794. PMID: 10950900. PMCID: PMC1745847.
218. SpO₂ Pulse OX Wrist Oximeter Reference Design, TIDU124, Texas Instrument 2013. [cited 24.08.2017] disponibil la: https://www.ti.com/lit/ug/tidu124/tidu124.pdf?ts=1603649181898&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
219. STEWART, J., Vital Signs and Resuscitation, Landes Bioscience, 2003, Texas USA, ISBN: 1-57059-671-9.
220. 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.
221. Temperature: Measurement and monitoring in EMS, PHILIPS Application Note, 2019. [cited 15.04.2020] disponibil la: <https://philipsproductcontent.blob.core.windows.net/assets/20191003/d721133807154f2d8b4daadb0178462a.pdf>.

- 222.THOM, T., HAASE, N., ROSAMOND W., et all. Heart Disease and Stroke Statistics –2006 Update: A Report From the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. In: *Circulation*, 2006. Vol. 113, Issue 6. pp. e85-e151.
- 223.TOCCI, G., ROSEI, EA., AMBROSIONI, E., BORGHI, C., FERRI, C., FERRUCCI, A., MANCIA, G., MORGANTI, A., PONTREMOLI, R., TRIMARCO, B., ZANCHETTI, A., VOLPE, M. Blood pressure control in Italy: analysis of clinical data from 2005-2011 surveys on hypertension. In: *J Hypertens* 2012, Vol.30(No.6). pp.1065–1074.
- 224.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.
- 225.TREMPER, K. Kevin. Pulseoximetry. In: *Chest Journal.*, 1989. Vol. 95 (4). pp.713–715. ISSN: 0012-3692.
- 226.TSAI S. F. Comparison Measurements of Infrared Ear Thermometers Against Three Types of Blackbody Sources. In: *Int. Journal of Thermophysics*, 2010. Vol. 31. pp. 1821-1831.
- 227.United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013). World Population Prospects: The 2012 Revision, Volume I: Comprehensive Tables ST/ESA/SER.A/336.
- 228.VARMA, N., EPSTEIN, A.E., IRIMPEN, A., et al. Efficacy and Safety of Automatic Remote Monitoring for Implantable Cardioverter – Defibrillator Follow-Up. In: *Circulation.*, 2010. No.122 (4). pp. 325–332. PMID: 20625110.
- 229.VOGELMEIER, C.F., CRINERG, J., MARTINEZ, F.J., ANZUETO A., BARNES, P.J., et al. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Lung Disease 2017 Report. Gold Executive Summary. In: *Am..J. Respir. Crit. Care Med.*, 2017, nr. 195(5), p. 557-582.
- 230.WAC, C., BULTS, R., BEIJNUM, B., WIDYA, I., JONES, V., D. KONSTANTAS, D., M. VOLLENBROEK-HUTTEN, M., HERMENS, H. Mobile Patient Monitoring: the MobiHealth 31st *Annual International Conference of the IEEE EMBS*. Minneapolis, Minnesota, USA, September 2-6, 2009. pp.1238-1241. ISBN :978-1-4244-3296-7.
- 231.WATERMAN, J., CURTIS, D., GORACZKO, M., SHIH, E., SARIN, P., PINO, E. OHNO-MACHADO, L., GREENES, R. et al. 'Demonstration of SMART (Scalable Medical Alert Response Technology). In: *American Medical Informatics Association Annual Symposium Proc.*, 2005, Washington DC. pp.1182–1183. PMCID: PMC1560680.
- 232.WILLIAMS, B., MANCIA, G., SPIERING, W., et. all. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension, The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology and the European Society of Hypertension. In: *European Heart Journal*, 2018. Volume 39 (33). pp.3021–3104.

233. Whitten P.S. et al. Systematic review of cost effectiveness studies of telemedicine Interventions. In: *British Medical Journal*, 2002. Vol. 324 (7351). pp.1434–1437.
234. World Health Organization. Cardiovascular disease. About cardiovascular diseases. [cited 02.10.2019] disponibil: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/about_cvd/en/.
235. World Health Organization. Global status report on noncommunicable diseases 2010. Geneva, 2011. ISBN 978-92-4-156422-9 [cited 07.06.2018] disponibil: https://www.who.int/nmh/publications/ncd_report2010/en/.
236. World Health Organization. Global status report on noncommunicable diseases 2014. Geneva, 2014. ISBN: 978-92-4-156485-4 [cited 17.07.2018] disponibil: <http://www.who.int/nmh/publications/ncd-status-report-2014/en/>.
237. World Health Organization. Noncommunicable Diseases (NCD) Country Profile, Republic of Moldova, 2016. [cited 14.09.2018] disponibil la: https://www.who.int/nmh/countries/mda_en.pdf.
238. World Health Organization. A global brief on Hypertension 2013. Silent killer, global public health crisis. [cited 03.05.2018] disponibil la: https://www.who.int/cardiovascular_diseases/publications/global_brief_hypertension/en/.
239. World Health Organization. World Health Statistics 2011. [cited 03.05.2018] disponibil la: https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/EN_WHS2011_Full.pdf.
240. XIAOCHUAN, He. Signal Enhancement Applied to Pulse Transit Time Measurement Thesis of Doctor of Philosophy, Carleton University Ottawa, Ontario December, 2015.
241. YANG, XIAO., HUI, CHEN. Mobile telemedicine: a computing and networking perspective. CRC Press, 2008. p.440. ISBN:978-1-4200-6046-1.
242. YANG, G.Z. Body Sensor Networks. L.: Springer, 2006. ISBN 978-1-4471-6374-9.
243. YUSUF, S., REDDY, S., OUNPUUS, S., ANAD, S. Global burden of cardiovascular diseases. In: *Circulation*, 2001. Vol.104, pp.2855-2864.
244. YUSUF, S., HAWKEN, S., OUNPUU, S., DANS, T., et al. Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study. In: *Lancet*, 2004. Vol. 364(9438). pp.937–952.
245. ZDROJEWSKI, T., SZPAKOWSKI, P., BANDOSZ, P., PAJAK, A., WIECEK, A., KRUPA-WOJCIECHOWSKA, B., WYRZYKOWSKI, B. Arterial hypertension in Poland in 2002. In: *J Hum Hypertens.*, 2004, Vol.18 (8). pp.557–562. PMID: 15129232.
246. АГАДЖАНОВ, Максим. m-Health — «мобильное» здравоохранение в современном мире. In: *habr.com*. 2014, 23 iunie [citat 10.04.2018] disponibil: <https://habr.com/ru/company/medgadgets/blog/227159/>.

247. АРОНОВ, Д.М., БУБНОВА, М.Г. Реальный путь снижения в России смертности от ишемической болезни сердца. In: *Кардиосоматика*, 2010. Vol. 1. сс.11-17.
248. БОЙЦОВ, С.А. Реалии и перспективы дистанционного мониторинга артериального давления у больных артериальной гипертензией. In: *Терапевтический архив*, 2018. Vol. 90, No. (1). сс. 4-8. ISSN 0040-3660.
249. В России введут удаленный мониторинг пациентов из групп риска. Заседание Совета по стратегическому развитию. In: TASS.ru. 2017, 21 martie [citat 20.05.2019] disponibil: <https://tass.ru/obschestvo/4112812>.
250. ВЯТСКИХ, Дмитрий. С 2020 года в России введут удаленный мониторинг состояния здоровья пациентов. In: *iot.ru*. 2017, 21 martie [citat 20.05.2019] disponibil: <https://iot.ru/meditsina/2020-goda-v-rossii-vvedut-udalenny-monitoring-sostoyaniya-zdorovya-patsientov>
251. ДМИТРИЕВ, А. С., РЫЖОВ, А. И., ЛАЗАРЕВ, В. А., МАЛЮТИН, Н. В., МАНСУРОВ, Г. К., ПОПОВ, М.Г. Экспериментальная сверхширокополосная беспроводная сенсорная сеть медицинского назначения. In: *Радиотехника и Электроника*, 2015. Vol. 60, No. (9). сс. 974-984.
252. КОНЦЕВАЯ, А. В., КОМКОВ, Д.С., БОЙЦОВ, С.А. Моделирование как метод оценки экономической целесообразности дистанционного мониторинга артериального давления на региональном уровне. In: *Журнал Здравоохранение Российской Федерации*, 2017. Vol.61, No. (1). сс.10-16. ISSN0044-197х.
253. ЛОМИДЗЕ, Н.Н., ХАСАНОВ, И.Ш., КУПЦОВ, В.В. Перспективы развития телемониторинга пациентов. In: *Вестник Аритмологии*, 2016. No.83. сс. 44-50. ISSN: 1561-8641.
254. ЛОМИДЗЕ, Н. Н., РЕВИШВИЛИ, А. Ш., КУПЦОВ, В. В., СПИРИДОНОВ, А. А. Удаленный мониторинг пациентов – результаты клинических исследований. In: *Вестник Аритмологии*, 2013. No.74. сс. 71-76. ISSN: 1561-8641.
255. МАКАРОВ, Л.М., РЯБЫКИНА, Г.В., ТИХОНЕНКО, В.М., ГОЛИЦЫН, С.П., ШУБИК, Ю.В., БАЕВСКИЙ, Р.М., ПЕРВОВА, Е.В., ТАРСКИЙ, Н.А., ХАССАНОВ, И. 14-й конгресс Международного общества холтеровского мониторирования и неинвазивной электрокардиологии и 12-й конгресс Российского общества холтеровского мониторирования и неинвазивной электрофизиологии. In: *Кардиология*, 2012. Vol.52, No. 2. сс. 81-84. ISSN: 0022-9040.
256. МЕДВЕДЕВ, О.С., ЯЦКОВСКИЙ, М.Ю. Мобильное здравоохранение (m-Health) и мониторинг здоровья в современной медицине. In: *Ремедиум*, 2013, No.9. сс. 8-15.
257. МОРОЗОВ, В.В., СЕРЯПИНА, Ю.В., КРАВЧЕНКО, Ю.Л., ТАРКОВ, С.М., БЕССМЕЛЬЦЕВ, В.П., КАТАСОНОВ, Д.Н., СЛУЕВ, В.А. Телемедицина в

- кардиологии: новые перспективы. In: *J. Фундаментальные исследования*, 2013. Vol.7(3). сс. 589-593. ISSN: 1812-7339.
- 258.ОГАНОВ, Р.Г., МАССДЕННИКОВА, Г.Я., ШАЛЬНОВА С.А., ДЕЕВ, А.Д. Сердечно-сосудистые и другие хронические неинфекционные заболевания: ситуация и возможности профилактики в России. In: *Международ.мед.журнал*, 2003. No.1. сс.16-21.
- 259.ОГАНОВ, Р.Г., МАСЛЕННИКОВА, Г.Я. Смертность от сердечно-сосудистых и других хронических неинфекционных заболеваний среди трудоспособного населения в России. In: *J. Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, 2002. Vol.1, No.3. сс. 17-39.
- 260.Рекомендации Всероссийское Научное Общество Кардиологов/ Российское Медицинское Общество по Артериальной Гипертензии «Диагностика и лечение артериальной гипертензии» (четвертый пересмотр). Москва 2010.
- 261.Ринтех: Удаленный мониторинг пациентов–перспективы развития. In: CNewsКлуб. 2013, [citat 15.05.2018] disponibil: https://club.cnews.ru/blogs/entry/udalennyj_monitoring_patsientov_perspektivy_razvitiya.
- 262.СРИБНАЯ, Ольга. Болезни сердца в Украине «помолодели»: кардиолог о снижении рисков инфаркта и инсульта. In: *Новости Украины и Мира*. 2018, 23 iulie [citat 20.05.2019] disponibil: <https://nv.ua/ukraine/zn/bolezni-serdtsa-v-ukraine-pomolodelikardioloh-o-snizhenii-riskov-infarkta-i-insulta-2482597.html>.
- 263.ФУРДУЙ, Ф.И, ЧОКИНЭ, В.К., ФУРДУЙ, В.Ф., ГЛИЖИН, А.Г., ВРАБИЕ, В.Г., ШЕПТИЦКИЙ, В.А. Трактат о научных и практических основах санокреатологии. Том.1. „Проблема здоровья. Санокреатология. Потребность общества в её развитии”. Кишинэу, 2016, 228 с.
- 264.ФУРДУЙ, Ф. И. Проблемы стресса и преждевременной биологической деградации человека. Санокреатология. Их настоящее и будущее. В сб.: *Современные проблемы физиологии и санокреатологии*. Кишинев, 2005. сс. 16-36.
- 265.ФУРДУЙ, Ф. И., ЧОКИНЭ, В. К., ФУРДУЙ, В. Ф., ЛАКУСТА, В. Н., ВУДУ, Л. Ф., ВУДУ Г. А., ТОДЕРАШ, И. К., БЕШЕТЯ, Т. С., ГЕОРГИУ З. Б. Здоровье человека – важнейшая комплексная задача многих биологических и медицинских наук. In: *Buletinul Academiei de Științe a Republicii Moldova*. In: *Științele vieții*, 2005. Vol.1(296). сс. 4-14.
- 266.ФУРДУЙ, Ф.И., ЧОКИНЭ, В.К., ВУДУ, Л.Ф., ВУДУ, Г.А., ФУРДУЙ, В.Ф., ФРУНЗЕ, Р.И., КАРАТЕРЗИ, Г.И., БОДРУГ, А.И., ЖИТАРЬ, Ю.Н., КАЗАКОВ, Ю.М. Стресс, эволюция человека, здоровье и санокреатология. (Пленарный доклад на II съезде физиологов СНГ). In: *Известия АН Молдовы. Науки о жизни*, 2010. Vol.1(310). сс. 4-13.

267. 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 Științe a Moldovei. Științele Vieții*, 2015. Vol. 1(325). сс. 4-17.
268. ФУРДУЙ, Ф.И., ЧОКИНЭ, В.К., ФУРДУЙ, В.Ф. Преждевременная общебиологическая деградация современного общества, регулирование его воспроизводства, саногенное питание и пути их решения – важнейшие межгосударственные проблемы. Глава 6. In: *Итоги науки. Том. 3. Избранные труды Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки*. М.: РАНМСНТ, 2013. сс. 85-112.
269. ФУРДУЙ, Ф.И., ЧОКИНЭ, В.К., ФУРДУЙ, В.Ф., ВРАБИЕ, В.Г., ГЛИЖИН, А.Г. Направленное формирование здоровья человека – важнейшая задача физиологии и санокреатологии I. Современное состояние изученности здоровья и пути его решения. In: *Buletinul AȘM. Științele vieții*, 2016. Vol. 3(330). сс. 25-38.
270. 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 978-9975-83-055-3. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/138116
271. ХАРЧЕНКО, В.И., КАКОРИНАУ, П., КОРЯКИН, М.В. и др. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в России и в экономически развитых странах. Необходимость усиления кардиологической службы и модернизации медицинской статистики в РФ (Аналитический обзор официальных данных Госкомстата, МЗ и СР России, ВОЗ и экспертных оценок по проблеме). In: *Росс. кардиол. журн.* 2005. No. 2. сс.5-18.
272. ХАСАНОВ, И.Ш. Мобильный теле мониторинг пациентов как основа для развития электро-кардиотерапии. In: *Украинский Медицинский Журнал*, 2011, Vol. 4 (84). сс 16-19
273. ШЕВЧЕНКО, Римма. Амиран Ревишвили: телемониторинг может стать решением многих медицинских проблем в России. In: *Медвестник*. 2017, 16 mai. [citat 30.05.2020] disponibil: <https://medvestnik.ru/content/news/Amiran-Revishvili-telemonitoring-mojet-stat-resheniem-mnogih-medicinskih-problem-v-Rossii.html>.

ANEXE

Anexa1.



Ministerul Afacerilor Interne al Republicii Moldova

Ministry of Internal Affairs of the Republic of Moldova
Serviciul medical



MD-2028, mun. Chișinău, str. Gh. Asachi, 25^b tel: 25-41-05, , 25-41-01, fax: 72-80-47

Act de implementare nr.1

din 15 decembrie 2020

Prin prezenta, se confirmă faptul, că în perioada 02.03.2020 – 30.11.2020 în cadrul Serviciului Medical al Ministerului Afacerilor Interne au fost efectuate lucrări de testare experimentală în condiții clinice a *Sistemului de monitorizare a stării sănătății sistemului cardiorespirator*.

Autorul elaborării: Botnaru Nicolai (Laboratorul Fiziologia stresului, adaptării și Sanocreatologie generală, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie).

Locul și perioada desfășurării lucrărilor de testare a Sistemului de monitorizare a stării sănătății sistemului cardiorespirator: Secția Consultativă și Diagnostic Funcțională a Spitalului Serviciului Medical al M.A.I.

Subiectul, conținutul și concluziile lucrărilor de testare experimentală: Conform obiectivelor au fost testați următorii indici cardiovasculari și respiratori: frecvența cardiacă, frecvența respirației, tensiunea arterială, saturația sângelui cu oxigen și a temperaturii corpul uman.

Rezultatele științifice obținute privind raționalitatea utilizării unor parametri fiziologici ale sistemelor vitale ale organismului-cardiovascular, respirator, ca indicatori predictibili vizualizați în dinamică la distanță și a stării relative a sănătății somato-vegetative este unul din procedeele tot mai des aplicate în medicina contemporană. Elaborarea și crearea unui sistem inedit de monitorizare și vizualizare la distanță și în dinamică a manifestării funcționale a acestor sisteme fiziologice și a stării relative a sănătății somato-vegetative, creează noi posibilități operative de influență asupra organismului uman și de a întreprinde la timp acțiuni de recuperare a acestora în cazul dereglării.

Rezultatele științifice obținute, practic au demonstrat, capacitățile funcționale în ansamblu a prototipului elaborat prin evaluarea prelevării, stocării și analizei valorilor parametrilor fiziologici în dinamică, detectării/alertării semnalelor sanogene și disanogene, eficienței sistemului de comunicare a informației prin infrastructura de internet, a demonstrat posibilități funcționale performante în monitorizarea în continuă la distanță a unor parametri fiziologici vitali.

VACULIN Ion

Comisar Șef



semnătura

MINISTERUL EDUCAȚIEI
CULTURII ȘI CERCETĂRII
AL REPUBLICII MOLDOVA

INSTITUTUL
DE FIZIOLOGIE ȘI
SANOCREATOLOGIE

str. Academiei, 1,
or. Chișinău, MD 2028
Tel.72-51-55, fax: (+ 373 22) 73-71-42
Nr. 185 din 17.12.2020
La nr. din



MINISTRY OF EDUCATION
CULTURE AND RESEARCH
OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

INSTITUTE
OF PHYSIOLOGY AND
SANOCREATOLOGY

1 Academy Str.
Kishinau, cod MD 2028
Tel.72-51-55, fax: (+ 373 22) 73-71-42

ACT DE IMPLEMENTARE NR.1

Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie confirmă faptul, că în perioada 02.01.2019 – 15.11.2020 în cadrul laboratorului Fiziologia stresului, adaptării și Sanocreatologie generală al Institutului au fost efectuate lucrări de asamblare și testare experimentală a *Sistemului de monitorizare a stării sănătății sistemului cardiorespirator*, autor Botnaru Nicolai.

Conform obiectivelor au fost testați următorii indici cardiovasculari și respiratori: frecvența cardiacă, frecvența respirației, tensiunea arterială, saturația sângelui cu oxigen și a temperaturii corpului uman.

Rezultatele științifice obținute privind raționalitatea utilizării unor parametri fiziologici ale sistemelor vitale ale organismului – cardiovascular și respirator, ca indicatori predictibili vizualizați în dinamică la distanță și a stării relative a sănătății somatovegetative este unul din procedeele tot mai des aplicate în medicina contemporană. Elaborarea și crearea unui sistem inedit de monitorizare și vizualizare la distanță și în dinamică a manifestărilor funcționale ale indicatorilor acestor sisteme fiziologice și a stării relative a sănătății somatovegetative, creează noi posibilități operative de influență asupra organismului uman, precum și de a întreprinde la timp acțiuni de recuperare.

Rezultatele investigațiilor au demonstrat capacitățile funcționale ale prototipului elaborat prin prelevarea, stocarea și analiza valorilor parametrilor fiziologici în dinamică, detectării/alertării semnalelor sanogene și dissanogene, eficienței sistemului de comunicare a informației prin infrastructura de internet, a demonstrat posibilități funcționale performante în monitorizarea continuu la distanță a unor parametri fiziologici vitali.

Director al Institutului
de Fiziologie și Sanocreatologie,
dr.hab., prof.univ.

Ion MEREUȚĂ

Subsemnatul, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Botnaru Nicolai Matei

Semnătura _____

Data ____ . ____ . 2022

Curriculum vitae
Euro Pass



Informații personale

Nume / Prenume

Botnaru Nicolai

Adresă

str.Academiei,4. MD-2028, or. Chișinău, Republica Moldova

Telefon

022724406

Mobil: 079247273

E-mail(uri)

nicolaibotnaru@gmail.com

Naționalitate(-ități)

Moldovean, Român

Data nașterii

11.11.1989

Sex

Masculin

**Locul de muncă vizat /
Domeniul ocupațional**

Serviciul Medical al M.A.I.

Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie al AȘM

Experiența profesională

Direcția Medicală a MAI

Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie al AȘM

Clinica Universitară de Asistentă Medicală Primară

Serviciul Medical al M.A.I.

Perioada

Aprilie 2014- Ianuarie 2015(cumul)

2010- 2019

2015-2017 (Cumul)

2017- prezent

Funcția sau postul ocupat

Inginer deservirea echipamentelor medicale

Inginer programist

Inginer electronist

Specialist fiziolog coordonator

Cercetător științific stagiar

Inginer IT

Inginer superior pe deservirea aparaturii medicale

Activități și
responsabilități principale

Mentenanța, deservirea, testarea, repararea și instalarea
dispozitivelor medicale

Mentenanța, deservirea, testarea, repararea și instalarea
calculatoarelor

Crearea și testarea software

Numele și adresa
angajatorului

Direcția medicală a MAI ,mun. Chișinău, str. Gh. Asachi 25b

Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie al AȘM,
str. Academiei 1

Clinica Universitară de Asistentă Medicală Primară,
Strada 31 August 1989 137a.

Tipul activității sau sectorul de activitate	Nanotehnologii, Bioinginerie, inginerie IT, Nanobioinginerie, microelectronică, rețele de comunicare.					
Educație și formare						
Perioada	1997-2009 Liceul Teoretic "Miguel de Cervantes Saavedra" din or. Chișinău, Studii liceale 2009-2013 UTM, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Ciclul I - Licență 2013-2015 UTM, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Ciclul II - Masterat 2012-2013 Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Cursuri de specializare 2015-2019 Universitatea AȘM ,Școala Doctorală Științe biologice, Ciclu III – Doctorat					
Calificarea / diploma obținută	Diploma de Bacalaureat Diploma de Licență Diploma de Master Certificat de absolvire a cursurilor de specializare în domeniu Nano-Bioinginerie.					
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	Cursuri avansate Nano-Bioinginerie					
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Universitatea Tehnică a Moldovei Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie al AȘM					
Nivelul în clasificarea națională sau internațională	Ciclu I – licență Tema proiectului de licență: Proiectarea unui audiometru. Ciclu II – master Tema proiectului de master: Proiectarea dispozitivului de monitorizare a pacientului. Ciclu III – doctorat Tema: Elaborarea unui sistem de monitorizare a stării sănătății sistemului cardiorespirator.					
Aptitudini și competențe personale						
Limba(i) maternă(e)	Limba româna					
Limba(i) străină(e) cunoscută(e)	1-Rusa 2- Engleza 3-Spaniola					
Autoevaluare						
<i>Nivel european (*)</i>						
	Înțelegere		Vorbire		Scriere	
	Ascultare		Citire	Participare la conversație	Discurs oral	Exprimare scrisă
Limba	1	avansat	avansat	avansat	avansat	avansat
Limba	2	Mediu	Mediu	mediu	mediu	mediu
Limba	3	Mediu	Mediu	Mediu	Mediu	Mediu

Competențe și abilități sociale	Comunicabil, responsabil, punctual, spirit de echipă, inteligent și isteț.
Competențe și aptitudini tehnice	Proiectarea sistemelor electronice ,programarea microprocesoare și elaborarea sistemelor bazate pe microcontrolere, cunoașterea la nivel superior a calculatorului. Elaborarea programelor GUI în Microsoft Visual Studio și C++ Builder, elaborarea programelor și simularea în Matlab. Proiectarea/dezvoltarea circuitelor FPGA. Proiectarea/dezvoltarea circuitelor Embedded și IoT. Elaborarea aplicații în Arduino, Processing. Proiectare 3D și 3D imprimare.
Competențe și aptitudini de utilizare a calculatorului	Aplicare la nivel înalt a programelor Microsoft Office Word, Microsoft Office Excel, Microsoft Office Access, Microsoft Office PowerPoint, Microsoft Office Picture Manager, MozillaFirefox, Internet Explorer, Google Chrome, Microsoft Visual Studio. Autodesk Fusion 360, AutoCAD, KOMPIAC-3D, Arduino IDE, Proteus, EasyEDA, Eagle PCB, OrCAD, Altium Designer.
Alte competențe și aptitudini	Particip la cursuri de aeromodelism, robotica si rachetomodelism . Posed cunoștințe în domeniul chimiei aplicate, medicinei.
Permis(e) de conducere	Categoria B
Informații suplimentare	Sunt valabile referințele tuturor colegilor, prietenilor, conducători, profesori, etc.