

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
„CAROL DAVILA”, BUCUREȘTI  
ȘCOALA DOCTORALĂ  
DOMENIUL MEDICINĂ**



*Predicția decompensării insuficienței cardiace  
utilizând inteligența artificială*

**REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT**

**Conducător de doctorat:  
PROF.UNIV.DR. SINESCU CRINA-JULIETA**

**Student-doctorand:  
PANĂ MARIA-ALEXANDRA (căs.CIUCĂ-PANĂ)**

**2023**

## CUPRINS

INTRODUCERE .....	3
I.PARTE GENERALĂ.....	4
1. Predicția decompensării insuficienței cardiace utilizând inteligența artificială.....	4
II.CONTRIBUȚII PERSONALE .....	5
2.Analiza vocală- marker predictor de decompensare al insuficienței cardiace.....	5
2.1.Ipoteza de lucru și obiectivele studiului.....	5
2.2.Material și metodă .....	5
2.2.1.Tipul studiului și caracterizarea subiecților .....	5
2.2.2.Colectarea datelor .....	6
2.2.3.Analiza statistică.....	7
2.2.4.Limitele cercetării .....	7
2.3.Rezultate .....	7
2.4.Discuții.....	13
2.5.Concluzii .....	15
3. Asistentul virtual vCare- metodă de prevenție secundară a insuficienței cardiace.....	16
3.1.Ipoteza de lucru și obiectivele studiului .....	16
3.2.Material și metodă .....	16
3.2.1. Tipul studiului și caracterizarea subiecților.....	16
3.2.2. Componentele asistentului virtual .....	17
3.2.3. Colectarea datelor .....	18
3.2.4. Analiză statistică .....	19
3.2.5. Limitele cercetării .....	19
3.3.Rezultate .....	19
3.4.Discuții.....	24
3.5.Concluzii .....	26
4. Contribuții personale .....	27
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	29
LISTA CU LUCRĂRILE ȘTIINȚIFICE PUBLICATE.....	32

## INTRODUCERE

Insuficiența cardiacă reprezintă un sindrom clinic plurietiologic, caracterizat de simptome și/sau semne specifice, ce conduc la creșterea presiunii intracardiace și/sau semne de debit cardiac scăzut în repaus și/sau în timpul efortului, cu un impact major asupra calității vieții pacientului din punct de vedere fizic, psihologic și social [1].

În ciuda evoluției tehnicilor de diagnostic și terapie ale insuficienței cardiace, mortalitatea asociată se menține în continuare crescută secundar lipsei unor metode eficiente de prevenție secundară ale acestei patologii, situație ce conduce la o incidență ridicată a ratei de complicații și a numărului de acutizări [1].

Inteligența artificială este o ramură a ingineriei care utilizează concepte moderne în rezolvarea unor provocări medicale complexe. Implementarea inteligenței artificiale în sfera medicală nu ar trebui privită drept un fenomen futurist, ci mai degrabă un instrument capabil de a economisi timp personalului medical și a minimiza erorile umane [2-3].

Plecând de la aceste necesități din practica curentă, am ridicat ipoteza dezvoltării unor metode eficiente de prevenție secundară a insuficienței cardiace prin intermediul algoritmilor de inteligență artificială. Primul studiu de caz a avut ca ipoteză utilizarea vocii drept parametru de predicție al episoadelor de acutizare ale pacienților cu insuficiență cardiacă cronică, în timp ce al doilea studiu de cercetare a urmărit evaluarea eficienței unui asistent virtual de recuperare cardiacă în prevenția secundară a insuficienței cardiace cronice.

Primul studiu de caz a fost de tip observațional prospectiv, în cadrul căruia am colectat parametrii vocali ai fiecărui pacient înrolat, cărora le-am asociat o clasă NYHA de la I-III. Baza de date obținută am introdus-o într-un algoritm de învățare automată, a cărui eficiență am testat-o prin analiza vocală a unui pacient ce nu a făcut parte din lotul inițial.

Cel de-al doilea studiu de caz a fost de tip prospectiv intervențional, în cadrul căruia am implementat un asistent virtual. După o perioadă de 3 luni, am realizat analiza comparativă a parametrilor prestabiliți lotului de studiu. Rezultatul a fost favorabil telereabilitării, beneficiile fiind cel puțin echivalente unui program clasic de recuperare cardiacă.

Limitele actualelor studii de cercetare sunt reprezentate în primul rând de numărul mic de pacienți înrolați, situație ce poate conduce la o reprezentare inadecvată a pacientului cu insuficiență cardiacă. Din aceeași cauză, rezultatele obținute sunt preliminare și necesită certificare ulterioară prin cercetări pe loturi ample de subiecți. De asemenea, necesitatea capacității de înțelegere, vorbire și mișcare al pacienților studiați a condus la limitarea înrolării de pacienți critici, cu dizabilități sau cu un nivel educațional scăzut.

# I.PARTE GENERALĂ

## 1. Predicția decompensării insuficienței cardiace utilizând inteligența artificială

Insuficiența cardiacă (IC) reprezintă un sindrom clinic caracterizat de simptome (dispnee, fatigabilitate) și/sau semne (distensia venelor jugulare, raluri pulmonare subcrepitante, edeme periferice) secundare unor patologii structurale sau funcționale ale inimii ce conduc la creșterea presiunii intracardiace și/sau debit cardiac scăzut în repaus și/sau în timpul efortului [4].

Actualmente, la nivel global aproximativ 26 milioane de persoane sunt diagnosticate cu insuficiență cardiacă cronică, incidență în continuă creștere secundar îmbunătățirii speranței de viață generale dar și a tehnicilor de diagnostic și tratament în insuficiența cardiacă. Prevalența standardizată în funcție de vârstă prezintă o variație geografică importantă, astfel că în anul 2017, cele mai mari rate de incidență a IC s-au înregistrat în Europa Centrală, Orientul Mijlociu și Africa de Nord, cu o valoare între 1133-1196 cazuri raportat la 100.000 de locuitori, în timp ce cele mai scăzute rate s-au observat în Europa de Est și Asia de Sud-Est, de doar 498-595 persoane cu IC raportat la 100.000 locuitori [5].

Din punct de vedere economic, insuficiența cardiacă reprezintă o povară pentru sistemele de sănătate la nivel mondial, secundar costurilor crescute pe care le generează. În anul 2012, un studiu extensiv care a luat în considerare atât costurile directe cât și costurile indirecte secundare îngrijirii pacienților cu IC din 197 de țări a estimat un total de 108 miliarde de dolari. Din această sumă 60% au reprezentat costuri directe (65 miliarde dolari) și 40% costuri indirecte (43 miliarde de dolari) [6-7].

Inteligența artificială (IA) este definită drept capacitatea computerelor și a tehnologiei avansate de a simula comportamentul inteligent și gândirea critică a omului. Rolul IA în sectoarele publice și private ale domeniului medical crește într-un mod rapid și va avea cu siguranță un impact substanțial asupra fiecărui aspect al asistenței medicale primare. Scopul acestor progrese medicale este de a atinge un echilibru reciproc avantajos între resursa umană instruită, indispensabilă actului medical și tehnologie [8].

Implementarea pe scară largă a serviciilor de telemedicină și telereabilitare cardiacă prezintă oportunitatea de combatere a inegalității de acces a anumitor grupuri de pacienți la serviciile medicale. În prezent, investițiile în domeniul tehnologiei medicale le depășesc pe cele din medicina clasică. Viitorul este promițător, însă este foarte important să se alinieze și standardele etice și reglementările de producție și guvernamentale, pentru o protecție crescută a pacientului și o minimizare a riscurilor asociate [9].

## **II.CONTRIBUȚII PERSONALE**

### **2. Analiza vocală- marker predictor de decompensare al insuficienței cardiace**

#### **2.1. Ipoteza de lucru și obiectivele studiului**

Insuficiența cardiacă cronică beneficiază de progrese medicale actuale impresionante, însă cu toate acestea asociază o incidență și o prevalență în continuă creștere, în special în țările industrializate. Majoritatea pacienților diagnosticați cu acest sindrom parcurg cel puțin o dată în viață un episod de acutizare al bolii, cu potențial letal și necesitate de tratament în urgență. Dezvoltarea aplicabilității inteligenței artificiale în sfera medicală se poate dovedi un real ajutor în prevenția primară și secundară a insuficienței cardiace cronice. Astfel, plecând de la aceste necesități din practica medicală curentă, am ridicat ipoteza utilizării vocii pacienților drept parametru de predicție al riscului de decompensare a insuficienței cardiace. Studiul actual oferă o nouă perspectivă asupra aplicării metodelor de inteligență artificială în medicină, utilizând un software de inteligență artificială pentru analiza vocală a pacienților.

În consecință am formulat următoarele obiective generale ale studiului de cercetare:

1. Conturarea profilului pacientului cu episoade frecvente de decompensare ale insuficienței cardiace;
2. Crearea unei baze de date pentru învățarea automată a software-ului de inteligență artificială;
3. Introducerea unui pacient nou în algoritmul de învățarea automată pentru verificarea eficienței acestuia;

#### **2.2.Material și metodă**

##### **2.2.1. Tipul studiului și caracterizarea subiecților**

Am realizat un studiu observațional prospectiv în Clinica de Cardiologie a Universității de Medicină și Farmacie „Carol Davila” din cadrul Spitalului Clinic de Urgență „Bagdasar-Arseni” din București, prin crearea unui lot de pacienți diagnosticați cu edem pulmonar acut cardiogen. În studiul de cercetare am inclus pacienți cu vârstă > 18 ani, cu diagnostic de internare de edem pulmonar acut cardiogen, indiferent de etiologia cunoscută sau necunoscută a insuficienței cardiace sau de factorul precipitant al episodului acut. Am exclus pacienții cu vârstă < 18 ani, cu incapacitate de înțelegere și/sau respectare al protocolului de studiu și/sau oferire a consimțământului informat, pacienții diagnosticați cu mutism și/sau pacienții afazici. Lotul studiului de cercetare a fost format din pacienții care corespund criteriilor de includere și

nu au nici un criteriu de excludere și care înainte de înrolarea voluntară au urmat o sesiune de prezentare în detaliu a studiului, de instruire și îndrumare.

Studiul de cercetare nu a prezentat nici un potențial risc psihologic, fizic sau juridic pentru pacienții înrolați și a fost condus în concordanță cu principiile etice din „Declarația Drepturilor Omului” de la Helsinki. Odată cu prezentarea în detaliu a studiului de cercetare, fiecare pacient a semnat un consimțământ informat. Studiul actual de cercetare a fost aprobat de comisia de etică a Universității de Medicină și Farmacie „Carol Davila” din București, România, cu cod de protocol PO-35-F-03, numărul 17831 din data de 12 Iulie 2021.

În stabilirea diagnosticului de edem pulmonar acut cardiogen am utilizat examenul clinic la prezentare, evaluarea semnelor de congestie pulmonară și/sau sistemică, antecedentele personale patologice, electrocardiograma de repaus, radiografia cord-pulmon, ecografia cardiacă și probele biologice. După stabilizarea hemodinamică a pacientului am realizat evaluarea extensivă a acestuia pentru decelarea etiologiei subiacente insuficienței cardiace și a factorului precipitant al episodului acut.

Pe durata perioadei de spitalizare, fiecare pacient din lotul de studiu a fost înregistrat de două ori pe zi, pronunțând două cuvinte-cheie specifice (numărul „33” și vocala „E”) utilizând un telefon mobil marca Lenovo P780 într-un mediu cu cât mai puțin zgomot de fundal. Fiecărei înregistrări vocale în parte i-am asociat o clasă NYHA și a contribuit la alcătuirea bazei de date pe care am utilizat-o ulterior ca intrare pentru algoritmul de învățare automată. Eficiența algoritmului de învățare automată am testat-o prin analiza vocală a unui pacient ce nu a făcut parte din lotul inițial.

### **2.2.2. Colectarea datelor**

Pacienții înrolați în studiul de cercetare au fost examinați după același protocol, pentru asigurarea echivalenței parametrilor participanților la studiu. Datele colectate au fost stocate prospectiv într-o bază de date.

Atât pentru lotul de studiu cât și pentru pacientul ce a fost utilizat la verificarea acurateții softului de inteligență artificială s-au colectat următorii parametri: (1) vârstă, (2) sex, (3) mediul de proveniență, (4) status financiar, (5) nivel educațional, (6) factorul precipitant al EPAC, (7) status fumător, (8) clasa NYHA la externare, (9) nivel de activitate fizică, (10) înălțime, (11) greutate la internare, (12) greutate la externare, (13) indice de masă corporală, (14) diureză medie/24h pe perioada de spitalizare, (15) aportul hidric mediu/24h pe perioada de spitalizare, (16) prezența/absența fibrilației atriale, (17) prezența/absența hipertensiunii arteriale esențiale, (18) prezența/absența diabetului zaharat de tip 2, (19) prezența/absența bolii cardiace ischemice,

(20) terapia non-invazivă/invazivă pentru boala cardiacă ischemică, (21) fracția de ejeție a ventriculului stâng, (22) prezența/absența valvulopatiilor aortice/mitrale/tricuspidiene, (23) prezența/absența hipertensiunii pulmonare, (24) valoarea NTproBNP internare, (25) valoare NTproBNP externare, (26) valoare Troponină I înalt sensibilă, (27) valoare presepsin la internare, (28) hemoleucogramă, (29) profil lipidic complet, (30) creatinină, (31) rată de filtrare glomerulară, (32) acid uric, (33) ionogramă, (34) parametrii vocali în evoluție.

### **2.2.3. Analiza statistică**

Datele colectate de la lotul de pacienți înrolați în studiu au condus la crearea a două baze de date. Prima bază de date a fost creată utilizând Microsoft Office Excel Workbook și a conținut parametri numerotați de la 1-32 prezentați în subcapitolul anterior „2.2.2. Colectarea datelor”, iar cea de-a doua bază de date a conținut parametrii vocali ai pacienților. Baza de date din Microsoft Office Excel Workbook a conținut variabile de tip întreg, real sau boolean, ce au fost analizate și studiate individual. Considerând numărul mic de pacienți înrolați în studiu, aceste date au fost prezentate ca o serie de cazuri. Prelucrarea parametrilor vocali am efectuat-o prin măsurarea amplitudinii vocale la distanțe egale pe o perioadă prestabilă de secunde și a semnalului continuu pe care aceasta îl emite. Rata de eșantionare a semnalului l-am stabilit la 48 kHz (kilohertzi).

### **2.2.4. Limitele cercetării**

Limitele studiului actual de cercetare sunt reprezentate de lotul mic de pacienți, încadrând rezultatele obținute ca preliminară, cu necesitate de certificare ulterioară prin cercetări pe loturi ample. De asemenea, necesitatea capacității de înțelegere și vorbire a pacienților înrolați a condus la limitarea înrolării de pacienți critici, cu dizabilități sau cu un nivel educațional scăzut.

## **2.3. Rezultate**

Lotul de studiu a fost format din 16 pacienți, 9 de sex masculin și 7 de sex feminin. Vârsta minimă a fost de 65 ani, vârsta maximă de 91 ani, cu o valoare medie de 72.68 de ani. Mediul de proveniență al pacienților studiați a fost majoritar urban, cu o valoare de 13 pacienți din mediul urban comparativ cu 3 din mediul rural. Am stabilit în mod aleator ca pacienții numerotați de la 1-6 și 8-16 să fie utilizați în baza de date de învățare automată a algoritmului de inteligență artificială, iar pacientul cu numărul 7 să fie utilizat pentru testarea funcționalității acestuia (Tabel 2.1.).

**Tabel 2.1. Date epidemiologice**

Pacient	Vârstă	Sex	Mediul de proveniență	Status financiar	Nivel educațional
1	75 ani	F	Urban	Mediu	Liceu
2	71 ani	F	Urban	Mediu	Liceu
3	66 ani	F	Rural	Mediu	Facultate
4	79 ani	F	Urban	Mediu	Facultate
5	74 ani	F	Rural	Scăzut	Facultate
6	67 ani	F	Urban	Crescut	Studii postuniversitare
7	66 ani	F	Urban	Crescut	Studii postuniversitare
8	73 ani	M	Urban	Mediu	Liceu
9	76 ani	M	Urban	Scăzut	Liceu
10	70 ani	M	Urban	Scăzut	Liceu
11	65 ani	M	Rural	Scăzut	Facultate
12	91 ani	M	Urban	Crescut	Liceu
13	70 ani	M	Urban	Mediu	Facultate
14	75 ani	M	Urban	Mediu	Liceu
15	78 ani	M	Urban	Mediu	Liceu
16	67 ani	M	Urban	Scăzut	Facultate

Am monitorizat valoarea markerului specific de insuficiență cardiacă NTproBNP atât la internare cât și la externare. Interpretarea valorilor am efectuat-o plecând de la valoarea cut-off de 500 pg/mL. În consecință, valoarea minimă pe care am observat-o în lotul de studiu a fost de 1207 pg/mL, valoarea maximă de >30.000 pg/mL, iar valoarea medie de 7.847 pg/mL. Pe parcursul perioadei de spitalizare, valorile NTproBNP au scăzut secundar tratamentului administrat, astfel că în ziua externării valoarea minimă pe care am identificat-o a fost de 370 pg/mL, valoarea maximă de 1200 pg/mL, iar valoarea medie de 767,5 pg/mL (Tabel 2.2.).



**Tabel 2.2. Valori NTproBNP la internare și externare**

Pacient	NTproBNP internare	NTproBNP externare
1	3480 pg/mL	1200 pg/mL
2	4638 pg/mL	900 pg/mL
3	3664 pg/mL	650pg/mL
4	5200 pg/mL	1105 pg/mL
5	2262 pg/mL	370 pg/mL
6	3797 pg/mL	800pg/mL
7	10.939 pg/mL	589 pg/mL
8	17.545 pg/mL	500pg/mL
9	3131 pg/mL	1000pg/mL
10	>30.000 pg/mL	1200 pg/mL
11	1207 pg/mL	400 pg/mL
12	8987 pg/mL	700pg/mL
13	4277 pg/mL	800 pg/mL
14	15.300 pg/mL	940 pg/mL
15	4325 pg/mL	456 pg/mL
16	6800 pg/mL	670 pg/mL

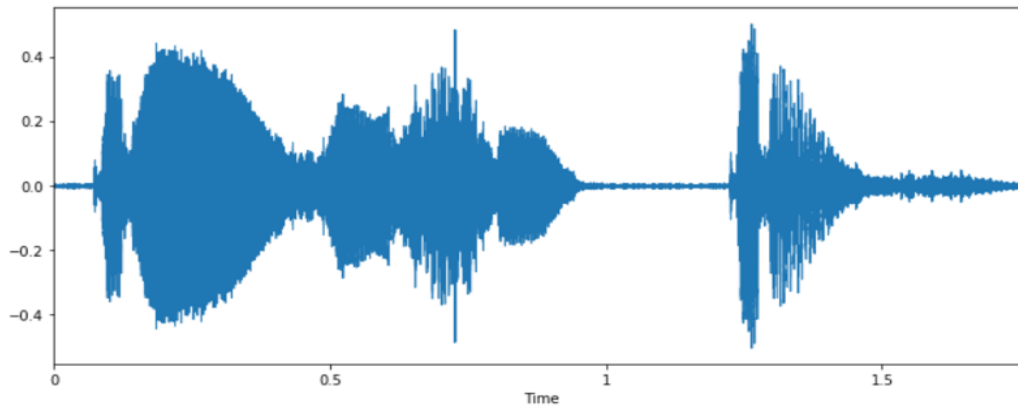
Din punct de vedere ecocardiografic, 10 pacienți au asociat insuficiență cardiacă cu disfuncție sistolică severă de ventricul stâng, 4 pacienți au prezentat disfuncție sistolică moderată de ventricul stâng și 2 pacienți au prezentat fracție de ejeție normală. Valvulopatia cu interesare aortică am observat-o în 5 cazuri, valvulopatia cu interesare mitrala în 16 cazuri iar cea cu interesare tricuspidiană în 14 cazuri (Tabel 2.3.).

**Tabel 2.3. Caracteristici ecocardiografice**

Pacient	FEVS	Valvulopatie <sub>AO</sub>	Valvulopatie <sub>MT</sub>	Valvulopatie <sub>TRC</sub>
1	15%	Proteză metalică	Proteză metalică	Anuloplastie
2	50%	Nu	Regurgitare ușoară	Nu
3	40%	Nu	Regurgitare moderată	Regurgitare moderată
4	30%	Nu	Regurgitare moderată	Regurgitare ușoară
5	20%	Nu	Regurgitare moderată	Regurgitare moderată
6	40%	Nu	Regurgitare moderată	Regurgitare ușoară
7	10%	Nu	Regurgitare moderată	Regurgitare moderată
8	19%	Nu	Regurgitare severă	Regurgitare severă
9	35%	Regurgitare ușoară	Regurgitare moderată	Regurgitare moderată
10	30%	Nu	Regurgitare moderată	Regurgitare moderată
11	20%	Nu	Regurgitare moderată	Regurgitare moderată
12	40%	Stenoză moderată	Regurgitare severă	Regurgitare ușoară
13	25%	Nu	Regurgitare ușoară	Nu
14	25%	Stenoză severă	Proteză metalică	Regurgitare severă
15	50%	Regurgitare moderată	Regurgitare moderată	Regurgitare moderată
16	45%	Nu	Regurgitare ușoară	Regurgitare ușoară

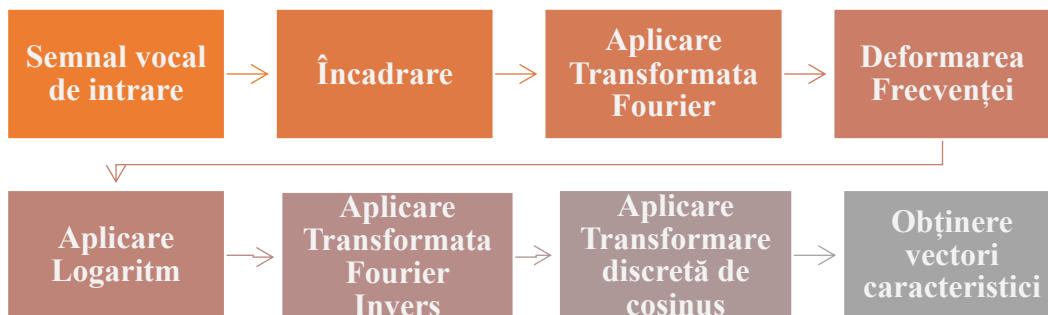
Am efectuat înregistrarea vocală a pacienților înrolați în studiu pe perioada de spitalizare a acestora, de două ori pe zi (dimineața și seara) cu ajutorul unui telefon inteligent marca Lenovo P780. Fiecare pacient a pronunțat două cuvinte-cheie prestabilite, reprezentate de vocala „E” și numărul „33”. Am obținut în total 240 de înregistrări vocale ce au reprezentat baza de date inițială. Fiecărei înregistrări vocale i-am asociat o clasă din primele trei ale Sistemului de Clasificare NYHA a Insuficienței Cardiace.

Pentru a o putea introduce în algoritmul de inteligență artificială, am prelucrat baza de date a parametrilor vocali prin eșantionare la o rată de 48 de kilohertzi. Astfel, am măsurat amplitudinea undelor vocale la o distanță egală prestabilită de puncte pe secundă alături de semnalul continuu. În figura 1 este reprezentată amplitudinea semnalului original al unei înregistrări. În această reprezentare grafică, avem un pacient de sex feminin care pronunță numărul „33” (Fig.2.1.).



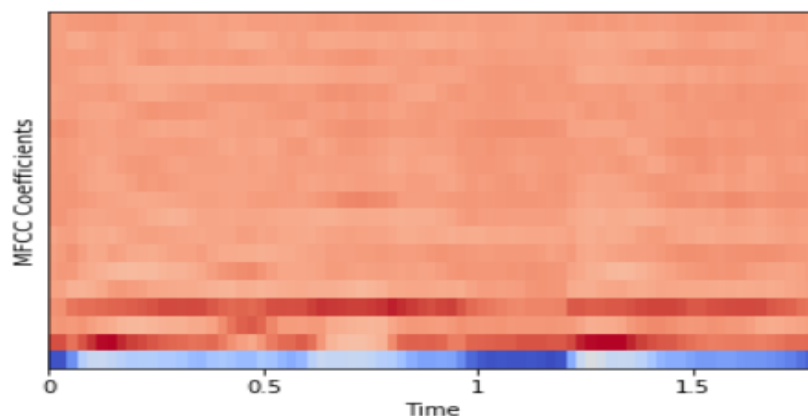
**Fig.2.1. Amplitudinea semnalului original în timp**

Am efectuat extragerea caracteristicilor vocale relevante din fiecare înregistrare cu ajutorul coeficienților cepstrali. Această etapă este necesară în procesarea datelor brute pentru a pregăti fișierul de intrare în algoritmul de învățare automată propus (Fig.2.2.).



**Fig.2.2. Etapele de extragere ale caracteristicilor vocale**

Metoda de prelucrare a sunetului prezentată în Figura 2.3. a rezultat în obținerea a 40 de vectori caracteristici. Din aceștia am utilizat 20 de vectori, reprezentați grafic în Figura 2.3.



**Fig.2.3. Reprezentarea vizuală a celor 20 de vectori caracteristici**

Algoritmii de învățare automată sunt caracterizați prin similitudinea naturii umane de analiză a datelor. S-au utilizat mai multe tehnici de învățare automată pentru clasificarea fișierelor audio într-una din primele trei clase ale Sistemului NYHA și anume: Support Vector Machine, Rețele neuronale artificiale și K-Nearest Neighbours (KNN). Algoritmul KNN s-a dovedit a fi cel mai relevant, deoarece a generat cea mai mare precizie pentru clasificare. În plus, rezultatul a fost susținut de matricea de confuzie. Cele trei coloane din matrice reprezintă cele trei clase asociate fișierelor audio (Clasa NYHA I, Clasa NYHA II, Clasa NYHA III). Fiecare element din diagonală reprezintă numărul de date corect clasificate iar celelalte elemente le reprezintă pe cele eronate. Valoarea 0.945 obținută reprezintă o acuratețe ridicată, a cărei validare s-a efectuat prin intermediul matricei de confuzie. Aceste două aspecte ne demonstrează că algoritmul KNN este capabil să realizeze o analiză vocală de mare precizie și este fiabil pentru dezvoltarea ulterioară (Tabel 2.4.).

**Tabel 2.4. Scorul metodelor utilizate în prelucrarea parametrilor vocali**

<b>Metodă</b>	<b>Rezultate</b>
<b>SVM</b>	Precizia obținută utilizând nucleul funcției de bază radială = 0.709 Precizia obținută folosind nucleul liniar =0.618 Precizia obținută folosind nucleul polinomial =0.527
<b>ANN</b>	Model 1 Valoarea maximă a funcției de pierdere obținută în timpul testării = 1.1447 Precizia maximă obținută în timpul testării= 0.418 Model 2: Valoarea maximă a funcției de pierdere obținută în timpul testării =1.3237 Precizia maximă obținută în timpul testării= 0.436
<b>KNN</b>	Scorul obținut = 0.945 Matricea de confuzie: [[20 0 2] [ 0 13 0] [ 1 0 19]

## 2.4. Discuții

Scopul studiului actual de cercetare a fost de a demonstra că procesul de fonație suferă în timpul episoadelor de decompensare ale insuficienței cardiace. Astfel, vocea poate fi folosită ca marker de prognostic și de monitorizare al statusului clinic al acestor pacienți și poate preveni episoadele acute prin adresabilitatea precoce la serviciile medicale de tip ambulator [10].

Pacienții înrolați în studiu au fost evaluați pe toată perioada spitalizării, atât din punct de vedere al parametrilor demografici, sociali, clinici, biologici și imagistici cât și din punct de vedere al evaluării vocale. Vârsta medie a pacienților înrolați a fost de 72.68 ani, cu un mediu de proveniență urban și un status financiar preponderent mediu. Nivelul educațional evaluat în lotul de studiu a fost majoritar mediu (liceu). Datele obținute se corelează cu datele din literatura de specialitate care afirmă o incidență mult mai mare a IC la pacienții cu vârstă de peste 70 de ani ce provin din zone industrializate [11].

Din punct de vedere al factorilor de risc cardiovascular, în lotul de studiu au fost mai mulți bărbați decât femei, cu vârstă de minim 65 de ani și cu antecedente heredocolaterale de boală cardiovasculară, însă fără variabilitate de sex. Jumătate din pacienții evaluați erau fumători și mai mult de jumătate afirmă un consum moderat sau crescut de alcool pe zi. Am identificat un indice de masă corporală crescut în 12 cazuri din 16 analizate, cu valori ce încadrau pacienții la categoria de suprapondere sau obezitate. De asemenea, hipertensiunea arterială, dislipidemia și diabetul zaharat de tip 2 au fost factori de risc pe care i-am observat într-un număr crescut în lotul pacienților înrolați în studiu. Acești trei factori de risc au fost evaluați la pacienții ce asociau un indice de masă corporală crescut și prezentau un nivel de activitate de tip sedentar. Analiza factorilor de risc cardiovascular se asociază pozitiv cu datele studiului Framingham care afirmă o incidență mai crescută a bolii cardiovasculare la bărbați decât la femei, însă cu o scădere a diferenței pe măsura creșterii vârstei. Toți pacienții din studiu au prezentat factori de risc cardiovascular în diverse grade, aspect care conform studiului anterior menționat îi predispune la un risc crescut de boală cardiovasculară. Acest lucru a fost de asemenea confirmat prin faptul că toți pacienții înrolați prezentau istoric de boală cardiacă ischemică [12].

Factorul precipitant episodului acut evaluat în lotul de studiu a fost non-aderența la tratamentul non-farmacologic și farmacologic și secundar o boală infecțioasă acută. Valoarea medie a markerului specific de insuficiență cardiacă NTproBNP a fost de 7.847 pg/mL la internare, care a scăzut pe perioada spitalizării sub tratament la o valoare medie de 767.5 pg/mL. Pacienții evaluați au avut și creșteri ușoare ale valorii de TnIhs, ce au conturat un diagnostic de injurie miocardică acută și nu de sindrom coronarian acut, cu o valoare medie de 136.06 ng/L.

În cazurile de insuficiență cardiacă acută cu factor precipitant infecțios, pacienții au asociat valori crescute de Presepsin, valoarea medie fiind de 603.75 pg/mL.

Din punct de vedere ecocardiografic, majoritatea pacienților au prezentat insuficiență cardiacă cu disfuncție sistolică severă de ventricul stâng.

Din punct de vedere al parametrilor vocali, algoritmul de inteligență artificială creat a absorbit parametrii vocali extrași din lotul de studiu, cărora le-a asociat o clasă NYHA de la I-III în funcție de statusul clinic indicat. Parametrii vocali ai pacientului selectat în mod aleator pentru testarea funcționalității algoritmului au fost încadrați corect în clasa NYHA III la internare și clasa NYHA II la externare.

Deși lotul de pacienți pe care a fost testat algoritmul este mic și sunt necesare studii pe loturi mult mai ample, rezultatul pozitiv al acestui studiu oferă o oportunitate de prevenție secundară a insuficienței cardiace ce merită a fi luată în considerare, având în vedere modalitatea facilă de monitorizare a parametrului vocal. Literatura de specialitate afirmă o îmbunătățire a supraviețuirii pacienților cu insuficiență cardiacă acută în ultimii ani, cu o speranță de 85.5% la 1 an. Cu toate acestea, supraviețuirea unui pacient cu insuficiență cardiacă la 5 și 10 ani este de 56.7% și respectiv 34.9%. Cu toate că din punct de vedere statistic, prognosticul pacienților cu insuficiență cardiacă s-a îmbunătățit de-a lungul timpului, rata spitalizărilor și mortalitatea rămân în continuare mari [13].

În anul 2012 costul global al tratamentului pacienților cu insuficiență cardiacă a fost estimat la 108 miliarde de dolari, sumă alcătuită 60% din costuri directe și 40% din costuri indirecte. În această evaluare economică s-au observat variații importante în modalitățile de distribuire a cheltuielilor între țările cu venituri medii și mici și țările cu venit crescut. Cele din urmă au distribuit o cantitate mai mare de fonduri către costurile directe, în timp ce celelalte către costurile indirecte. Spitalizarea pacienților cu insuficiență cardiacă generează cele mai mari costuri la nivel global, urmată de terapia farmacologică, însumând aproximativ 43% din totalul costului per pacient. Restul costurilor sunt reprezentate de proceduri medicale, analize de laborator și tehnici imagistice. În cazul pacienților cu insuficiență cardiacă care asociază insuficiență renală cu necesar de dializă, costurile cresc exponențial, însă la nivel global impactul nu a fost atât de mare, deoarece numărul acestor pacienți a fost destul de scăzut [14].

## 2.5. Concluzii

În concluzie, prin intermediul studiului actual de cercetare am generat cu succes un concept de algoritm de inteligență artificială capabil să utilizeze vocea pacienților în predicția riscului de decompensare a insuficienței cardiace.

Prin intermediul datelor colectate în cadrul acestui studiu am reușit de asemenea conturarea unui profil al pacientului român cu insuficiență cardiacă. Prin uniformizarea datelor obținute pot afirma că cel mai frecvent întâlnit pacient cu insuficiență cardiacă în practica medicală este de sex masculin, cu o vârstă de peste 70 de ani, din mediul urban, cu un status financiar și un nivel educațional mediu, cu antecedente heredecolaterale de boală cardiovasculară, fumător, consumator moderat de etanol, sedentar, cu obezitate, hipertensiv, dislipidemic și cu diabet zaharat de tip 2. Cel mai probabil acesta asociază o insuficiență cardiacă cu disfuncție sistolică severă, de etiologie ischemică, iar cauza frecventă a decompensărilor acute este reprezentată de non-aderența la tratamentul non-farmacologic și farmacologic.

Avantajele acestui algoritm în practica clinică sunt reprezentate în primul rând de scăderea complicațiilor asociate insuficienței cardiace, a ratelor de spitalizare și a mortalității de cauză cardiovasculară. De asemenea, monitorizarea la distanță a pacienților cu insuficiență cardiacă și îndrumarea lor precoce către servicii medicale de tip ambulator ar putea scădea ratele de spitalizare și resursa umană asociată actului medical. Implementarea unui astfel de algoritm pe telefoanele mobile ale pacienților înseamnă un minim de efort din partea lor și o eficiență crescută în managementul prevenției secundare a insuficienței cardiace. De asemenea, capacitatea algoritmului de monitorizare la distanță oferă posibilitatea de minimă evaluare a pacienților din zone cu acces limitat la servicii medicale. Dezavantajul pe termen scurt al acestui algoritm este reprezentat de necesitatea certificării pe un lot de pacienți amplu, fapt ce implică o perioadă crescută de timp până la utilizarea efectivă în practica clinică. Un studiu amplu necesită resurse economice pentru crearea cadrului de studiu, însă resurse cu mult mai scăzute decât cele necesare tratării pacienților în urgență.

Privind în perspectivă, acest concept va putea fi de asemenea implementat în aplicațiile deja existente de monitorizare a parametrilor vitali și a factorilor de risc cardiovascular, situație care va conduce la creșterea sensibilității de detecție a parametrului prin asociere de date și a acurateții aplicației prin recomandările efectuate pacienților.

Prevenția secundară este strategia optimă de control a insuficienței cardiace a cărei incidență și prevalență este extrem de dificil de înfrânat. Prin urmare, utilizarea inteligenței artificiale se poate dovedi un pionier în tehnologia de gestionare a bolilor cronice.

### **3. Asistentul virtual vCare- metodă de prevenție secundară a insuficienței cardiace**

#### **3.1. Ipoteza de lucru și obiectivele studiului**

Recuperarea cardiacă reprezintă o componentă importantă a prevenției secundare pacienților diagnosticați cu insuficiență cardiacă, care în ciuda multiplelor beneficii demonstrate în studii este rareori prescrisă la externare. Participarea pacienților în programele de reabilitare cardiacă este scăzută în primul rând din cauza lipsei centrelor dedicate acestui segment de pacienți și în al doilea rând din cauza programului prestabilit care limitează participarea pacienților care sunt activi din punct de vedere profesional. Conceptul de asistent virtual există de foarte mulți ani în sfera de cercetare medicală însă a întâmpinat multiple dificultăți în evoluție și implementare până în momentul perioadei de pandemie COVID-19, care ne-a demonstrat nevoia de monitorizare la distanță a pacienților cardiaci. Considerând toate aceste aspecte din practica medicală am ridicat ipoteza creării unui asistent virtual pentru pacienții cu insuficiență cardiacă care să le ofere toate componentele unui program de recuperare cardiacă clasic sub atenta monitorizare a unei echipe multidisciplinare.

În consecință am formulat următoarele obiective generale ale studiului de cercetare:

1. Testarea utilizării, fezabilității și eficacității sistemului vCare;
2. Evaluarea impactului sistemului vCare asupra reducerii factorilor de risc cardiovascular, asupra aderenței pacienților la planul de îngrijire și reabilitare la domiciliu și asupra personalizării tratamentului și promovării unei vieți active.

#### **3.2. Material și metodă**

##### **3.2.1. Tipul studiului și caracterizarea subiecților**

Am realizat un studiu prospectiv de tip intervențional în Clinica de Cardiologie a Universității de Medicină și Farmacie „Carol Davila” din cadrul Spitalului Clinic de Urgență „Bagdasar-Arseni” din București prin crearea unui lot de studiu de pacienți diagnosticați cu insuficiență cardiacă cronică ce au putut beneficia de pe urma unui program de recuperare cardiacă. În studiul de cercetare am inclus pacienții cu vârstă  $\geq 50$  ani, cu diagnostic de insuficiență cardiacă clasa NYHA II-III, cu capacitate de interacționare cu dispozitive digitale, care au beneficiat de conexiune la internet acasă și de un televizor cu port HDMI. Am exclus pacienții cu angină instabilă, tensiune arterială sistolică  $> 200$  mmHg, tensiune arterială diastolică  $> 110$  mmHg, cu test de hipotensiune ortostatică pozitiv, stenoză aortică severă, sepsis, aritmii amenințătoare de viață, insuficiență cardiacă acută, bloc atrioventricular de grad III, tromboembolism pulmonar recent, flebită, persistență de supradenivelare de segment ST  $> 2$ mm, diabet zaharat de tip 2 cu control inadecvat, dizabilități motorii, patologie tiroidiană cu



control inadecvat, hipopotasemie, hiperpotasemie, incapacitate de înțelegere și/sau respectare al protocolului de studiu și/sau oferire a consimțământului informat.

Actualul studiu de cercetare nu a prezentat nici un potențial risc de tip psihologic, fizic sau juridic și a fost condus în concordanță cu principiile etice din „Declarația Drepturilor Omului” de la Helsinki. Consimțământul informat a fost semnat de către fiecare participant la studiu. Acest studiu de cercetare a fost aprobat de Comisia de Etică a Universității de Medicină și Farmacie „Carol Davila” din București, România, cu cod de protocol P0-35-F-03, numărul 36288 din data de 21 Decembrie 2021.

De menționat că acest studiu de cercetare a făcut parte dintr-un studiu mai amplu intitulat Proiectul vCare (Virtual Care for Rehabilitation in Elderly Patients), finanțat de Uniunea Europeană prin intermediul Programului de Inovație și Cercetare Horizon 2020, cu numărul de grant 769807. În cadrul tezei actuale de doctorat va fi prezentat doar studiul aferent patologiei de insuficiență cardiacă.

În stabilirea diagnosticului de insuficiență cardiacă și în evaluarea severității acesteia am utilizat examenul obiectiv, istoricul medical, electrocardiograma de repaus, radiografia cord-pulmon, ecografia cardiacă, testul de efort cardio-pulmonar și probele biologice. Lotul de studiu a fost împărțit aleator în trei subgrupuri după cum urmează:

- Primul subgrup de studiu a utilizat în programul de recuperare cardiacă asistentul virtual vCare;
- Al doilea subgrup de studiu a efectuat recuperare cardiacă ambulatorie;
- Al treilea subgrup de studiu a efectuat reabilitare cardiacă la domiciliu doar cu recomandările obținute la externare.

### **3.2.2. Componentele asistentului virtual**

Asistentul virtual vCare a fost reprezentat de o aplicație preinstalată pe o tabletă tip Lenovo Tab M10 Full HD Plus ce i-a fost predată pacientului la înrolarea în studiu. Această tabletă s-a conectat automat cu un ceas inteligent tip Xiamo Mi Band 4, un cântar inteligent tip Xiaomi Weight Scale, un tensiometru inteligent tip Beurer BM85, o cameră tip Astra Orbbec camera și un set top box, cele din urmă fiind interconectate și cu televizorul pacientului.

Acest asistent virtual a fost controlat de la distanță de o platformă digitală (denumită Kiola) la care nu a avut acces decât echipa medicală, în care s-au introdus datele personale și medicale ale pacientului și prin intermediul căreia s-a stabilit programul de recuperare cardiacă, care odată activat s-a regăsit pe tableta pacientului.

În funcție de necesitățile medicale ale pacientului, programul de recuperare cardiacă cu ajutorul asistentului virtual a fost individualizat cu următoarele activități:

- Educație medicală;
- Activitate motrică zilnică;
- Activitate fizică aerobă;
- Antrenament de rezistență;
- Suport pentru terapia farmacologică;
- Controlul parametrilor vitali;
- Controlul greutății;
- Suport pentru renunțarea la fumat;
- Suport pentru reducerea anxietății și depresiei.

### **3.2.3. Colectarea datelor**

Pentru fiecare pacient înrolat în studiu am colectat următorii parametri: (1) Vârstă, (2) Sex; (3) Mediu de proveniență; (4) Status financiar; (5) Nivel educațional; (6) Status fumător; (7) Înălțime; (8) Greutate înainte de programul de recuperare cardiacă; (9) Greutate după programul de recuperare cardiacă; (10) Indice de masă corporală înainte de programul de recuperare cardiacă; (11) Indice de masă corporală după programul de recuperare cardiacă; (12) Nivel de activitate fizică; (13) Prezența/absența hipertensiunii arteriale; (14) Prezența/absența diabetului zaharat de tip 2; (15) Valoare Colesterol total înainte și după programul de recuperare cardiacă; (16) Valoare HDL-colesterol înainte și după programul de recuperare cardiacă; (17) Valoare LDL-colesterol înainte și după programul de recuperare cardiacă; (18) Valoare Trigliceride înainte și după programul de recuperare cardiacă; (19) Parametrii test de efort cardio-pulmonar înainte și după programul de recuperare cardiacă (intensitatea exercițiului fizic; durata testului de efort; frecvența cardiacă maximă; tensiunea arterială maximă,  $VO_{2max}$ ); (20) Scor Chestionar Minnesota; (21) Scor Chestionar Fagerstrom; (21) Scor Chestionar privind anxietatea și depresia intraspitalicească (HAD); (22) Chestionar de evaluare a calității vieții (EuroQol-5D); (23) Chestionar de autoevaluare a stării de sănătate (EQ-VAS) ; (24) Chestionar privind experiența utilizatorului (UEQ); (25) Chestionar privind scala de utilizare a sistemului (SUS); (26) Chestionar privind modelul de acceptare a tehnologiei (TAM); (27) Parametrii asistent virtual vCare.

### 3.2.4. Analiză statistică

Prin intermediul datelor colectate de la loturile de pacienți am creat trei baze de date. Prima bază de date am creat-o utilizând Microsoft Office Excel Workbook și a conținut parametrii numerotați de la 1-19 prezentați în subcapitolul anterior 3.2.3 „Colectarea datelor”. Aceasta a conținut variabile de tip întreg, real sau boolean pe care le-am analizat și studiat individual. A doua bază de date a fost creată utilizând SPSS și a conținut parametrii numerotați de la 20-26. A treia bază de date am creat-o în platforma digitală Kiola și a conținut parametrii asistentului virtual vCare. Fiecare parametru colectat a fost studiat și analizat individual utilizând programele menționate mai sus.

### 3.2.5. Limitele cercetării

Limitele actualului studiu de cercetare sunt reprezentate de lotul mic de pacienți înrolați, situație ce poate conduce la o reprezentare inadecvată a pacientului cu insuficiență cardiacă ce poate beneficia de un program de recuperare cardiacă la distanță. De asemenea, utilizarea doar a versiunii pe tabletă a asistentului virtual poate fi asociată cu o eficiență mai redusă în utilizare față de utilizarea unei versiuni pe telefonul mobil. Această limitare ar fi fost soluționată de posibilitatea de utilizare concomitentă atât a versiunii pe tabletă cât și pe telefonul mobil, însă din cauza dificultăților tehnice acest lucru nu a fost posibil.

## 3.3.Rezultate

Lotul de studiu a fost format din 30 de pacienți, dintre care 17 au fost de sex masculin și 13 au fost de sex feminin, cu o vârstă medie de 61.53 ani  $\pm$  9.41 ani (Fig.3.1).

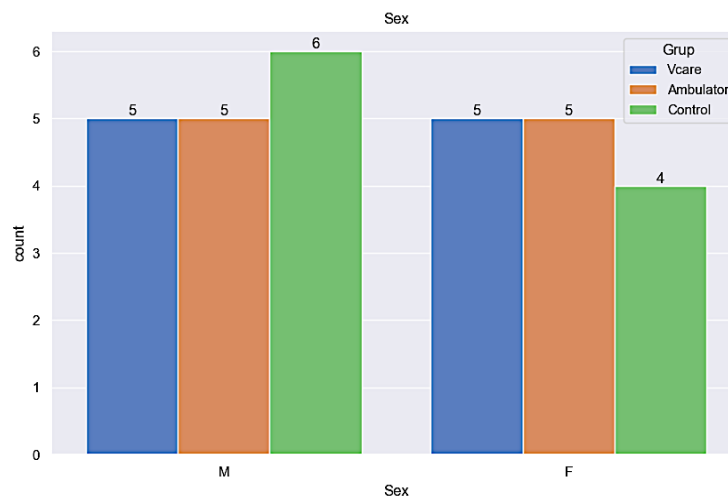
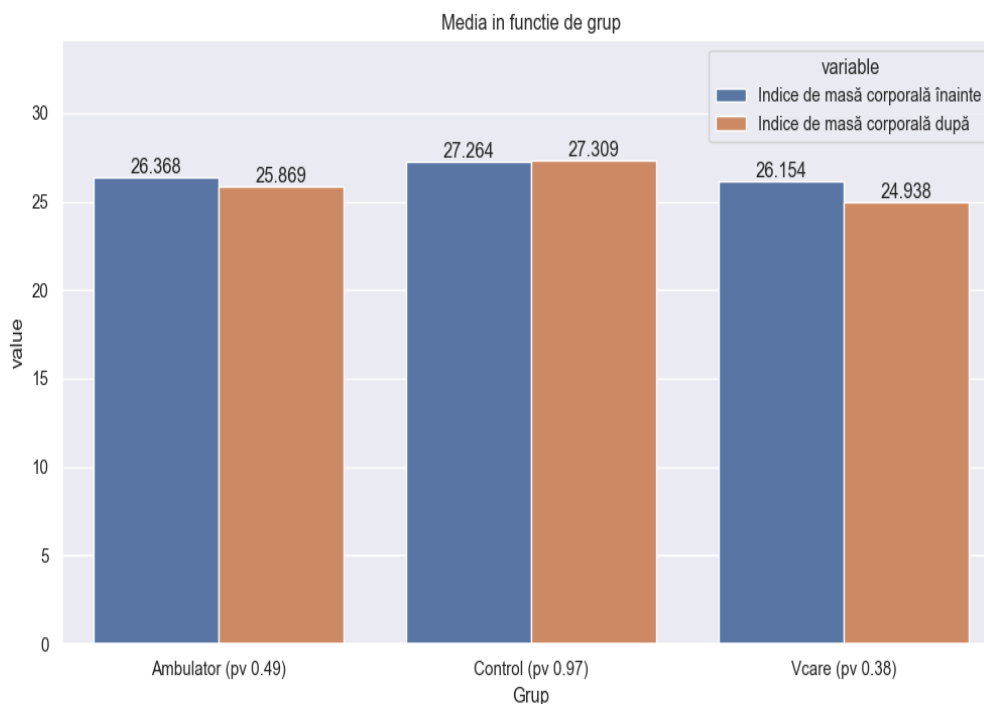


Figura 3.1. Distribuția pacienților în funcție de sex

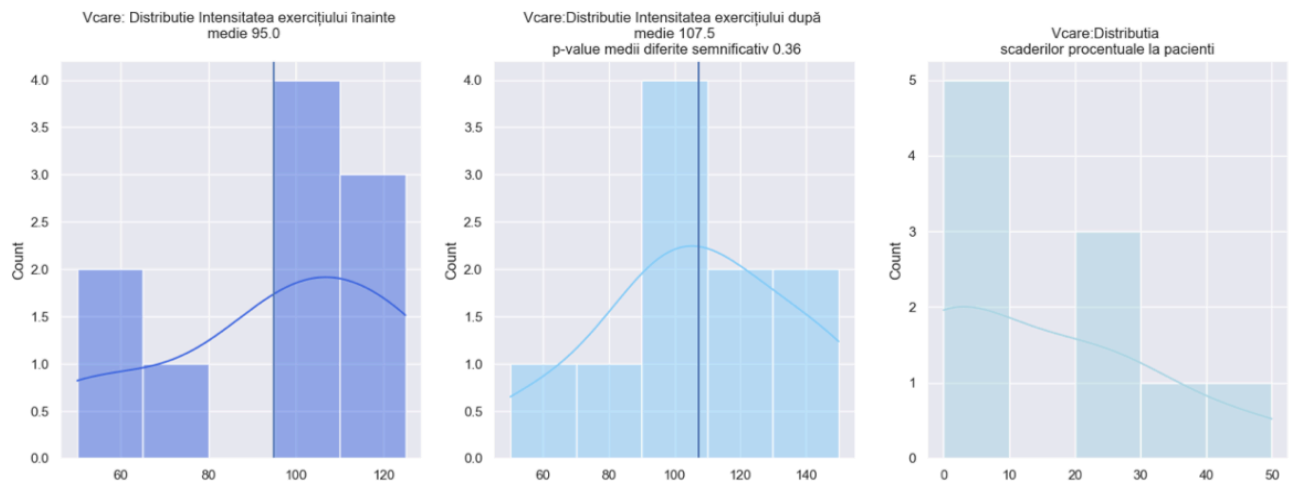
În Figura 3.2. am realizat o analiză comparativă a valorii medii a indicelui de masă corporală (IMC) între cele trei subgrupuri de studiu. Analizând aceste rezultate am observat că scăderea cea mai importantă a IMC s-a realizat în subgrupul experimental, cu o diferență de  $1.21 \text{ kg/m}^2$ , urmată de subgrupul ambulator, unde diferența a fost de  $0.5 \text{ kg/m}^2$ . Pacienții din subgrupul de control au prezentat aproximativ aceleași greutatea înainte și după intervenție, valoarea medie fiind chiar ușor mai crescută cu  $0.045 \text{ kg/m}^2$ .



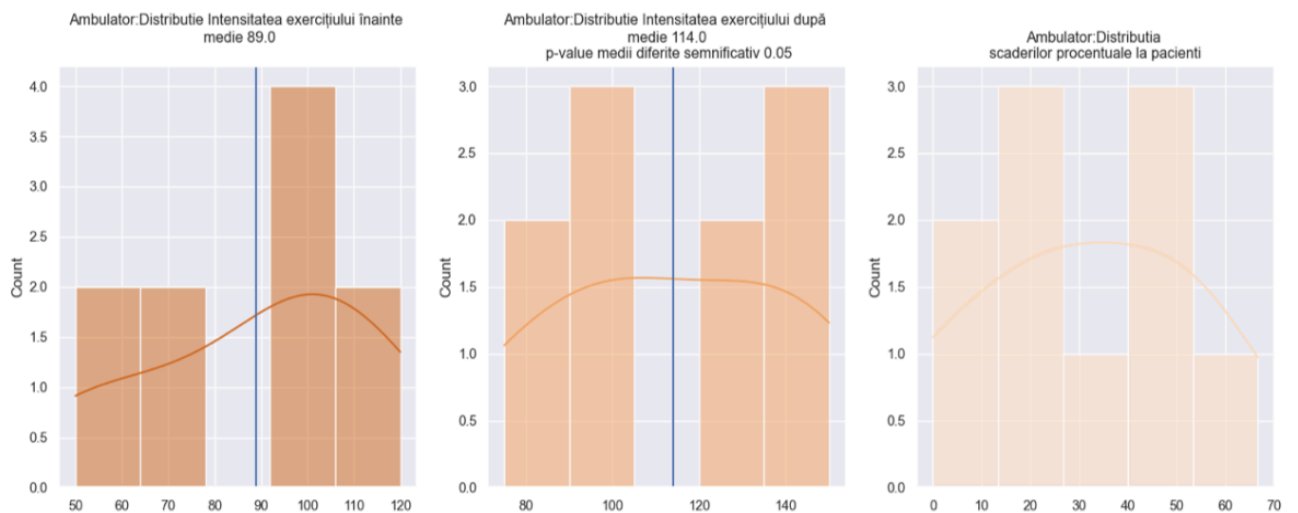
**Figura 3.2. Analiză comparativă a IMC înainte și după intervenție**

În subgrupul vCare se poate observa din Figura 3.3.a) că la  $T_0$  valoarea medie a intensității exercițiului fizic era de  $95 \text{ W}$ , valoare ce a crescut la  $T_1$  la  $107.5 \text{ W}$ . În subgrupul ambulator se poate observa că valoarea inițială a intensității efortului fizic a fost de  $89 \text{ W}$  și a crescut la  $114 \text{ W}$  după încheierea programului de recuperare cardiacă. În subgrupul control valoarea inițială a intensității efortului fizic a fost de  $87.5 \text{ W}$  și a scăzut după cele trei luni la  $76.5 \text{ W}$ . Analizând toate cele trei subgrupuri ale lotului de studiu pot afirma că în ceea ce privește intensitatea efortului fizic, cea mai importantă creștere s-a identificat la pacienții ce au efectuat recuperare cardiacă ambulatorie, urmată de pacienții ce au utilizat asistentul virtual vCare. Pacienții ce au efectuat recuperare cardiacă la domiciliu fără asistență medicală au prezentat o scădere a intensității efortului fizic (Fig.3.3.).

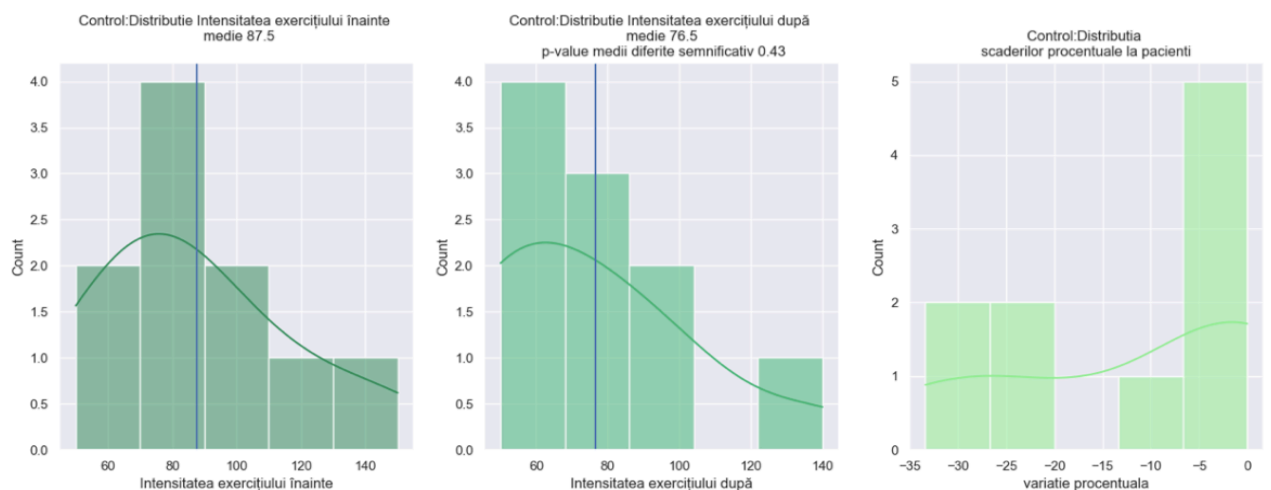
### a) În subgrupul vCare



### b) În subgrupul ambulator

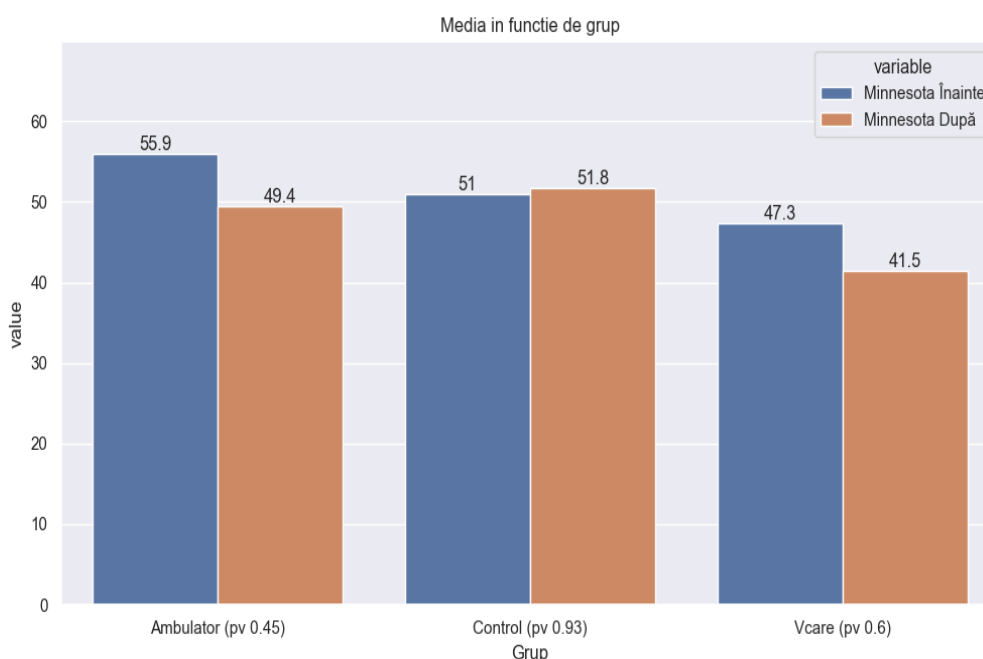


### c) În subgrupul control



**Figura 3.3. Intensitatea efortului fizic la testul de efort cardiopulmonar înainte și după intervenție**

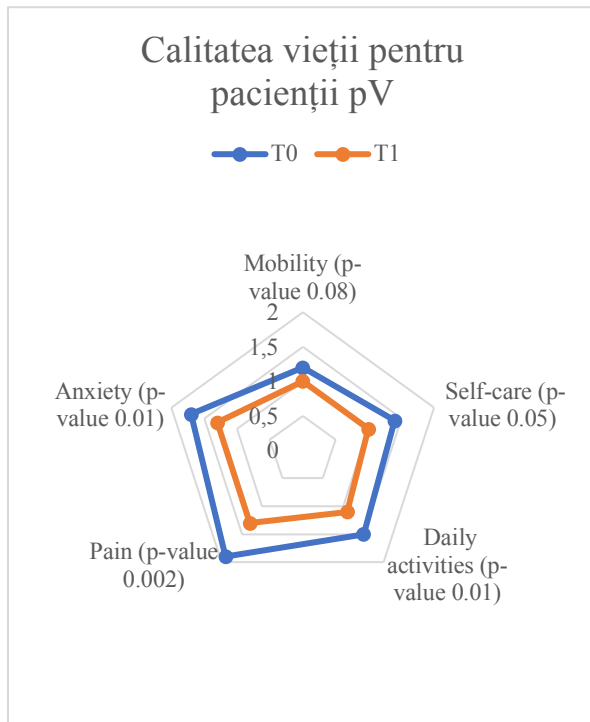
În Figura 3.4. sunt reprezentate valorile medii ale scorului aferent Chestionarului Minnesota pentru fiecare subgrup de pacienți evaluați, înainte și după intervenție. Se poate observa că în subgrupurile de ambulator și de control calitatea vieții înainte de intervenție era cea mai scăzută, cu un scor de 55.9 și respectiv 51. Subgrupul vCare prezenta o calitate a vieții ușor mai crescută, cu o valoare medie de 47.3. După intervenție, conform acestui chestionar calitatea vieții pacienților din subgrupurile de ambulator și vCare s-a îmbunătățit considerabil, cu o scădere de 6.5 puncte și respectiv 5.8 puncte. În grupul de control, calitatea vieții a rămas aproximativ aceeași, de la o valoare medie de 51 la o valoare medie de 51.8 puncte (Fig.3.4.).



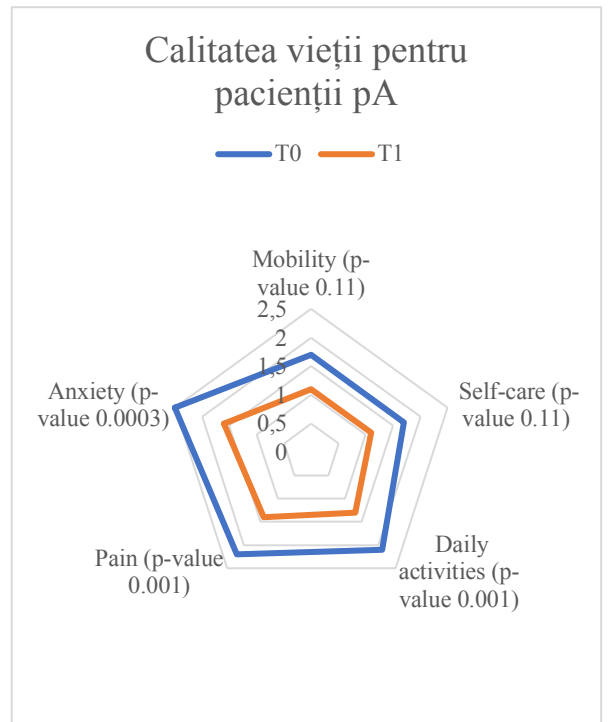
**Figura 3.4. Scor Chestionar Minnesota înainte și după intervenție**

În Figura 3.5.a),b),c) sunt reprezentate valorile medii ale parametrilor evaluați prin EuroQol-5D pentru fiecare subgrup de pacienți în parte. Astfel, se poate observa că în subgrupul experimental [Fig.3.5.a)] calitatea vieții pacienților era puternic influențată de durere și anxietate, situație cu un impact important asupra activităților zilnice și celor de autoîngrijire. După intervenție, acești parametri s-au îmbunătățit, de la o valoare inițială medie de aproximativ 4 la o valoare medie între 2-3. În subgrupul ambulator îmbunătățirea calității vieții a fost superioară celei din subgrupul experimental, cu valori medii inițiale de 3-4 și post intervenție de 2-3. În subgrupul de control, parametri evaluați în cele cinci dimensiuni au avut un scor între 3-4, valori cu caracter staționar și la evaluarea din momentul T<sub>1</sub> (Fig.3.5.).

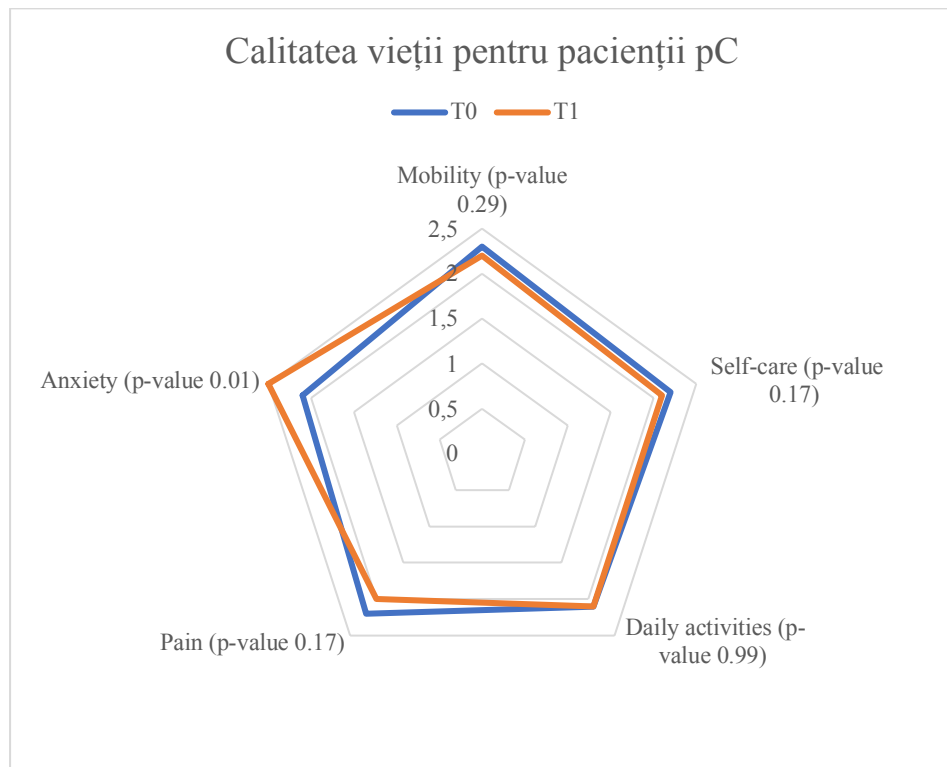
**a) Subgrup experimental**



**b) Subgrup ambulator**



**c) Subgrup control**



**Figura 3.5. Scor chestionar de evaluare a calității vieții (EuroQol-5D) înainte și după intervenție**

### 3.4. Discuții

Programele de recuperare cardiacă reprezintă un element central al prevenției secundare la pacienții cu insuficiență cardiacă, datorită multiplelor beneficii pe care le prezintă prin scăderea morbi-mortalității asociate, a ratelor de spitalizare, precum și prin creșterea toleranței la efort și asigurarea reinsertiei sociale. În ciuda multiplelor avantaje, există un decalaj constant în tratamentul non-farmacologic al pacienților cu insuficiență cardiacă, cauzat de absența continuității îngrijirii după externare [15].

Studiul de cercetare realizat asupra pacienților cu insuficiență cardiacă a avut ca obiectiv major evaluarea eficacității și utilizării unui asistent virtual (vCare) în reabilitarea cardiacă la distanță. În ceea ce privește capacitatea de efort, pot afirma că în subgrupul de studiu experimental, asistentul virtual este cel puțin la fel de eficient precum un program de recuperare cardiacă clasic. Rezultatele negative obținute prin analiza comparativă a subgrupurilor experimentale și control ne demonstrează că telereabilitarea este o alternativă extrem de eficientă pentru pacienții care nu pot accesa programele de recuperare cardiacă în persoană și nu numai. Rezultatele obținute sunt concordante cu cele din literatura de specialitate, unde s-a observat o îmbunătățire considerabilă a toleranței la efort, a consumului maxim de oxigen și a calității vieții prin intermediul reabilitării cardiace la domiciliul pacienților cu insuficiență cardiacă. În plus, se accentuează și impactul pozitiv al telemonitorizării asupra performanțelor fizice ale pacienților. Percepția de monitorizare medicală conduce la creșterea aderenței pacienților la recomandările non-farmacologice ale echipei medicale [16-17].

Percepția pacientului este un element esențial în dezvoltarea tehnologiei medicale deoarece succesul implementării pe scară largă a produselor desemnate este în strânsă legătură cu impresia pe care acestea o oferă utilizatorului. Un element foarte important care a fost descoperit pe parcursul studiului este reprezentat de motivația și interesul pacienților cardiaci de participare în studiu, atunci când se întâlnesc cu oportunitatea de efectuare a reabilitării cardiace. Considerăm că în spatele acestei atitudini pozitive este disponibilitatea scăzută a unor astfel de programe în România. Într-un studiu recent, Nabutovsky I. și colaboratorii au evaluat prin intermediul unui studiu observațional, percepția, atitudinea și comportamentul pacienților israelieni față de telereabilitare. Studiul s-a încheiat cu rezultate pozitive, 80% dintre pacienții evaluați fiind foarte interesați în accesarea unor astfel de servicii. De menționat că rezultatele obținute nu au fost influențate de factori demografici, sociali sau de nivelul de cunoaștere tehnologică [18-19].

În ceea ce privește reducerea factorilor de risc, asistentul virtual vCare a demonstrat eficiență în reducerea nivelurilor ridicate de colesterol și a dependenței de nicotină. În această



privință, consider responsabilă componenta de educație medicală integrată în programul de telereabilitare și interrelaționarea constantă a asistentului cu pacientul. Educația medicală asistată robotic reprezintă o alternativă de prevenție secundară îndelung discutată în domeniul medical drept o soluție de urmărire pe termen lung a pacienților cu insuficiență cardiacă post-externare, în special a vârstnicilor [20-21].

Impactul pozitiv al programelor de recuperare cardiacă la distanță și ambulator asupra anxietății și depresiei a fost demonstrat în subgrupurile experimental și ambulator unde s-a observat o îmbunătățire a acestor parametrii, comparativ cu subgrupul de control ce a prezentat un caracter staționar înainte și după intervenție. Literatura de specialitate susține acest rezultat prin multiple dovezi de îmbunătățire a nivelurilor de anxietate și depresie în rândul pacienților cu insuficiență cardiacă ce efectuează telereabilitare, alături de o creștere generală a calității vieții acestora [22].

În plus, datele obținute prin intermediul chestionarului de autoevaluare a stării de sănătate (EQ-VAS), colectate la  $T_0$  și  $T_1$  sugerează o ameliorare semnificativă a calității vieții pacienților ce au efectuat recuperare cardiacă cu ajutorul asistentului virtual vCare. Urmând aceeași direcție, date din literatură sugerează de asemenea echivalență sau o ușoară diferență pozitivă asupra calității vieții pacienților înrolați în programe de reabilitare cardiacă ambulatorie și la distanță, în favoarea celei din urmă [23-24].

În cadrul unei meta-analize asupra pacienților cu insuficiență cardiacă înrolați în programe de telereabilitare, Cordeiro și colaboratorii au subliniat faptul că recuperarea cardiacă la distanță îmbunătățește abilitățile sociale, toleranța la efort, activitatea sexuală și simptomele insuficienței cardiace, fiind cel puțin la fel de eficientă precum recuperarea cardiacă în persoană [25].

Dorința crescută a pacientului cardiovascular de a utiliza tehnologia ca modalitate de management al insuficienței cardiace creează un cadru favorabil dezvoltării acestui domeniu, cu beneficii viitoare atât medicale cât și economice. Având în vedere contextul epidemiologic nefavorabil al bolilor cardiovasculare, este necesar a se găsi modalități eficiente și ieftine de prevenție secundară a insuficienței cardiace, pentru evitarea supraîncărcării sistemului medical de urgență.

Prin intermediul rezultatele obținute în cadrul actualului studiu de cercetare, alături de cele oferite de literatura de specialitate, consider că asistentul virtual vCare este o alternativă viabilă pentru pacienții cu insuficiență cardiacă de a efectua reabilitare cardiacă la distanță, cu obținerea unor beneficii echivalente precum celor ale recuperării cardiace în persoană, însă din confortul casei personale.

### **3.5.Concluzii**

În concluzie, prin intermediul actualului studiu de cercetare am reușit să implementez cu succes un asistent virtual ca metodă de efectuare a recuperării cardiace la distanță pentru pacienții cu insuficiență cardiacă și să evaluez percepția acestora în utilizarea lui.

De asemenea, am evaluat și impactul asupra factorilor de risc cardiovascular, care a fost unul pozitiv, deoarece pe perioada utilizării sistemului, pacienții înrolați în subgrupul experimental au prezentat îmbunătățiri considerabile. Rezultatul favorabil al evaluării utilizării sistemului și a percepției pacienților se va dovedi extrem de util în viitorul apropiat pentru îmbunătățirea sistemului și adaptarea lui într-un mod cât mai precis nevoilor actuale ale pacienților cu insuficiență cardiacă.

Pe termen lung, implementarea programelor de recuperare cardiacă la distanță înseamnă creșterea eficienței prevenției secundare a pacienților cu insuficiență cardiacă datorită orarului flexibil de participare, eliminării necesității de deplasare și înrolarea unui număr mult mai mare de participanți, prin eliminarea barierelor geografice. De asemenea, prin intermediul dispozitivelor inteligente asociate sistemului, s-ar asigura o monitorizare mult mai eficientă a parametrilor vitali cu decelarea precoce a semnelor de decompensare cardiacă. Din punct de vedere social, pacienții cu insuficiență cardiacă care nu au un cadru familial de suport ar beneficia de o calitate crescută a îngrijirii medicale și ar putea fi îndrumați către servicii medicale precoce atunci când se află la risc de decompensare, evitând astfel spitalizările de urgență și anumite complicații asociate bolii.

Dezavantajele asistentului virtual sunt reprezentate în primul rând de imposibilitatea înrolării pacienților cu risc cardiovascular crescut și a celor cu un nivel educațional scăzut. De asemenea, în prezent nu există un cadru legislativ de implementare a serviciilor de telerabilitare pentru a putea fi compensate de către sistemul medical de sănătate, situație ce întârzie utilizarea acestui tip de recuperare cardiacă la pacienții cu insuficiență cardiacă.

În perspectivă, rezultatele obținute se pot dovedi utile viitoarelor cercetări de explorare a eficacității sistemului vCare pe loturi mai ample de pacienți. De asemenea, descoperirile actuale pot fi factori decizionali în elaborarea unei noi legislații de incorporare a acestui sistem în tratamentul non-farmacologic al pacienților cardiovasculari. De asemenea, sistemul vCare ar putea fi îmbunătățit considerabil prin realizarea unei aplicații mobile, situație ce ar facilita utilizarea lui.

Recuperarea cardiacă prin intermediul unui asistent virtual prezintă rezultate aproape echivalente cu cele ale reabilitării clasice și ar trebui considerată ca element cheie al prevenției secundare a pacienților cu insuficiență cardiacă.

#### 4. Contribuții personale

Insuficiența cardiacă este o boală cronică cu o progresie lentă în timp, însă cu un impact foarte semnificativ asupra calității vieții individului și asupra societății în care trăiește, din punct de vedere medical, social și economic.

În partea generală a actualei teze de doctorat am evidențiat incidența și prevalența în creștere ale acestei patologii, precum și etiologia, complicațiile asociate, tratamentul non-farmacologic și farmacologic. Consider că în foarte multe cazuri de insuficiență cardiacă, stilul de viață și factorii externi joacă un rol crucial în etiologia bolii. De asemenea, consider că aceste lucruri sunt greu de controlat într-un mod eficient pe scară largă, astfel încât să conducă în următorii ani la o scădere importantă a diagnosticului de insuficiență cardiacă. Având în vedere că ne aflăm într-un moment crucial, este imperios să ne îndreptăm atenția către prevenția primară și secundară a insuficienței cardiace, într-o modalitate cât mai eficientă și mai ușor de implementat pe scară largă.

Metodele de prevenție primară și secundară ale insuficienței cardiace pentru a fi eficiente trebuie să fie caracterizate printr-o resursă umană și economică minimă, cu posibilitatea de înrolare a unui număr cât mai mare de pacienți și fără limitare în timp și spațiu. În ciuda faptului că spitalele sunt supraaglomerate de pacienți cu insuficiență cardiacă, nu trebuie să uităm despre zonele cu acces limitat la servicii medicale adecvate, situație care subestimează în realitate numărul real al pacienților cu necesar de terapie adecvată.

Tehnologia joacă un rol important în viața noastră de zi cu zi și fiecare persoană indiferent de statusul educațional sau financiar utilizează comunicarea la distanță. Din acest punct de vedere, vârsta nu mai reprezintă un impediment atât de mare în implementarea modalităților digitale de tratament medical.

În cele două studii de cercetare prezentate am avut ca scop îmbunătățirea modalităților de prevenție secundară ale insuficienței cardiace prin intermediul algoritmilor de inteligență artificială. Astfel, inițial am ridicat ipoteza utilizării vocii ca parametru de predicție al episoadelor de acutizare ale insuficienței cardiace, deoarece validată pe scară largă, este un parametru ieftin și ușor de colectat de la pacient. Dezavantajul este reprezentat de faptul că vizează pacienți deja diagnosticați cu insuficiență cardiacă, excluzându-i pe cei care prezintă simptome, dar care nu au încă un diagnostic, deoarece nu au avut acces la servicii medicale. Este posibil ca în viitor prin dezvoltarea tehnologiei această soluție să poate fi extinsă și la pacienții fără un istoric medical, prin ridicarea unei suspiciuni de diagnostic și direcționarea acestora către o evaluare de specialitate.

În al doilea studiu de caz prezentat, având în vedere înrolarea deficitară a pacienților cu insuficiență cardiacă în programele de recuperare cardiacă din România, am cercetat posibilitatea de utilizare a unui asistent virtual ca metodă de efectuare a unui program de reabilitare cardiacă complet, însă de la domiciliul pacientului. În ciuda diverselor dificultăți tehnice întâlnite pe parcursul studiului, consider că este o modalitate extrem de eficientă pentru a asigura o prevenție secundară adecvată unui număr cât mai mare de pacienți, prin utilizarea unei resurse umane și economice destul de mici, comparativ cu costurile unui program de reabilitare cardiacă clasic. Rezultatele preliminare obținute alături de cele din literatura de specialitate situează telereabilitatea ca fiind cel puțin la fel de eficientă ca reabilitarea cardiacă în persoană. Cum am menționat și anterior, dezavantajul pe termen scurt este reprezentat în primul rând de lipsa legislației adecvate pentru implementarea acestui tip de serviciu. Pe de altă parte, pandemia de COVID-19 a accelerat dezvoltarea telemedicinii, cu includerea deja a anumitor servicii de teleconsultații în sistemele medicale publice, situație ce creează un precedent favorabil și serviciilor de telereabilitare.

Prevenția secundară de viitor a insuficienței cardiace, responsabilă de scăderea importantă a complicațiilor și a mortalității asociate va include cu siguranță inteligența artificială. Având în vedere dezvoltarea diverselor instrumente de predicție și control al factorilor de decompensare, consider oportun evaluarea eficienței fiecăruia în parte și contopirea lor într-un dispozitiv cu capacitate de predicție și monitorizare a insuficienței cardiace. Prin urmărirea multiplilor parametri, se obține o creștere a sensibilității și specificității instrumentului și o reducere a erorilor asociate.

Percepția pacienților cardiovasculari este favorabilă implementării tehnicilor medicale digitale, fiind dornici în utilizarea unor astfel de servicii. De asemenea, posibilitatea de individualizare a serviciilor medicale oferite conduce la tranziția de la medicina diagnosticului la medicina pacientului. Fiecare pacient în parte este unic, în ciuda diagnosticului comun pe care îl poartă, cu necesități și rezultate diferite.

Algoritmii de inteligență artificială reprezintă un subiect de actualitate în cercetarea medicală, cu rezultate impresionante de la o zi la alta. Prin posibilitatea nelimitată de informație pe care o pot absorbi și procesa, ei sunt promisiunea unei speranțe de viață crescută pentru pacienții cu insuficiență cardiacă.

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Gianluigi Savarese, Peter Moritz Becher, Lars H Lund, Petar Seferovic, Giuseppe M C Rosano, Andrew J S Coats. Global burden of heart failure: a comprehensive and updated review of epidemiology. s.l. : *Cardiovascular Research*, 2022. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvac013>.
2. Johnson K, Soto J.T, Glicksberg B, Shameer K, Miotto R, Ali M, Ashley E, Dudley J.T. Cardiology, *Artificial Intelligence in*. 2668-2679, s.l. : J.Am Coll. Cardiol, 2018, Vol. 71. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.03.521>.
3. Diana Bonderman. cardiology, *Artificial intelligence in*. 866-868, s.l. : Wien. Klin. Wochenschr, 2017, Vol. 129.
4. Theresa A McDonagh, Marco Metra, Marianna Adamo, Roy S Gardner, Andreas Baumbach, Michael Böhm, Haran Burri, Javed Butler, Jelena Čelutkienė, Ovidiu Chioncel, John G F Cleland, Andrew J S Coats, Maria G Crespo-Leiro, Dimitrios Farmakis, Martine Gilard, St. contributio, 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: Developed by the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) With the specia. 36, s.l. : *European Heart Journal*, 2021, Vol. 42, pg. 3599-3726; <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368>.
5. Bragazzi NL, Zhong W, Shu J, Abu Much A, Lotan D, Grupper A, Younis A, Dai H. 2017, Burden of heart failure and underlying causes in 195 countries and territories from 1990 to 15, s.l. :*Eur J Prev Cardiol*, 2021, Vol. 28, pg. 1682-1690; <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwaa147>.
6. Savarese G, Lund LH. Global Public Health Burden of Heart Failure. 1, s.l. : *Card Fail Rev.*, 2017, Vol. 3, pg. 7-11; doi: 10.15420/cfr.2016:25:2. PMID: 28785469; PMCID: PMC5494150.
7. Cook C, Cole G, Asaria P, Jabbour R, Francis DP. The annual global economic burden of heart failure. 3, s.l. : *Int J Cardiol.*, 2014, Vol. 171, pg. 368-376; doi: 10.1016/j.ijcard.2013.12.028. Epub 2013 Dec 22. PMID: 24398230.
8. Amisha, Malik P, Pathania M, Rathaur VK. ., Overview of artificial intelligence in medicine. *J Family Med Prim Care*, 2019, Vol. 8. 2328-2331; doi: 10.4103/jfmprc.jfmprc\_440\_19. PMID: 31463251; PMCID: PMC6691444..
9. Ewa Piotrowicz, Massimo F. Piepoli, Tiny Jaarsma, Ekaterini Lambrinou, Andrew J. S. Coats, Jean-Paul Schmid, Ugo Corra, Piergiuseppe Agostoni, Kenneth Dickstein, Petar M. Seferovic, Stamatis Adamopoulos and Piotr P. Ponikowski. pitfalls, Telerehabilitation in

heart failure patients: The evidence and the. s.l. : International Journal of Cardiology, 2016, Vol. 220. International Journal of Cardiology.

10. **Maria-Alexandra Pană**, Ștefan-Sebastian Busnatu, Liviu-Ionuț Șerbănoiu, Electra Vasilescu, Nirvana Popescu, Cătălina Andrei, Crina-Julieta Sinescu. Reducing the Heart Failure Burden in Romania by Predicting Congestive Heart Failure Using Artificial Intelligence: Proof of Concept. *Applied Sciences*, 2021, Vol. 11. <https://doi.org/10.3390/appl12411728>.
11. Donald M, Lloyd-Jones, MD, ScM, Martin G.Larson,ScD, Eric P.Leip, MS, Alexa Beiser, PhD, Ralph B. D'Agostino, PhD, William B. Kannel, MD, Joanne M. Murabito, MD, ScM, Ramachandran S. Vasan, MD, Emelia J. Benjamin, MD, ScM And Daniel Levy, MD. The Framingham Heart Study. Lifetime Risk for Developing Congestive Heart Failure , *Circulation*, 2002, Vol. 102, 3068-3072, <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000039105.49749.6F>.
12. Jones N.R, Roalfe A.K., Adoki L, Hobbs F.D.R, Taylor C.J. Survival of patients with chronic heart failure in the community: A systematic review and meta-analysis, *Eur J Heart Fail*, 2019, Vol. 21, 1306-1325, <https://doi.org/10.1002/ejhf.1594>.
13. Dharmarajan K, Rich M.W. Pathophysiology and Prognosis of Heart Failure in Older Adults, *Heart Fail Clin*, 2017, Vol. 13,417-426, <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2017.02.001>.
14. Cook C, Cole G, Asaria P, Jabbour R, Francis D.P. The annual global economic burden of heart failure.*Int.JCardiol*,2014,Vol.171,368-376, <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.12.028>.
15. Winnige, P.; Filakova, K.; Hnatiak, J.; Dosbaba, F.; Bocek, O.; Pepera, G.; Papathanasiou, J.; Batalik, L.; Grace, S.L. Validity and Reliability of the Cardiac Rehabilitation Barriers Scale in the Czech Republic (CRBS-CZE): Determination of Key Barriers in East-Central Europe. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, Vol. 18 (24). 13113 <https://doi.org/10.3390/ijerph182413113>.
16. Chen, Y.W.; Wang, C.Y.; Lai, Y.H.; Liao, Y.C.; Wen, Y.K.; Chang, S.T.; Huang, J.L.; Wu, T.J. Home-based cardiac rehabilitation improves quality of life, aerobic capacity, and readmission rates in patients with chronic heart failure,*Medicine*, 2018, Vol. 97 (4). doi: 10.1097/MD.00000000000009629.
17. Casas, J.; Senft, E.; Gutiérrez, L.F.; Rincón-Rocancio, M.; Múnera, M.; Belpaeme, T.; Cifuentes, C.A. Assessing the Impact of a Training Assistant Robot in Cardiac Rehabilitation, *Int. J. Soc. Robot*, 2020, Vol. 13, 1189-1203, <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00708-y>.

18. Ștefan-Sebastian Busnatu, **Maria-Alexandra Pană**, Andreea Elena Lăcraru, Cosmina-Elena Jercălău, Nicolae Păun, Massimo caprino, Kai Gand, Hannes Schlieter, Sofoklis Kyriazakos, Cătălina Liliana Andrei, Crina-Julieta Sinescu. Patient Perception when Transitioning from Classic to Remote Assisted Cardiac Rehabilitation, *Diagnostics*, 2022, Vol. 12. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12040926>.
19. Irene Nabutovsky, Amira Nachshon, Robert Klempfner, Yair Shapiro and Riki Tesler. Digital Cardiac Rehabilitation Programs: The Future of Patient-Centered Medicine, *Telemedicine and e-Health*, 2020, Vol. 26 (1). <https://doi.org/10.1089/tmj.2018.0302>.
20. Carolyn M Astley, Robyn A Clarke, Susie Cartledge, Aline Beilegoli, Huiyun Du, Celine Gallagher, Sindy Millington, Jeroen M Hendriks, Remote cardiac rehabilitation services and the digital divide: Implications for elderly populations during the COVID19. 521-523, s.l. : *Eur. J. Cardiovasc. Nurs.*, 2021, Vol. 20 (6), pg.521-523. <https://doi.org/10.1093/eurjcn/zvab034>.
21. Andreea-Elena Lăcraru, Ștefan-Sebastian Busnatu, **Maria-Alexandra Pană**, Gabriel Olteanu, Liviu Șerbănoiu, Kai Gand, Hannes Schlieter, Sofoklis Kyriazakos, Octavian Ceban, Cătălina Liliana Andrei, Crina-Julieta Sinescu, Patients, Assessing the Efficacy of a Virtual Assistant in the Remote Cardiac Rehabilitation of Heart Failure and Ischemic Heart Disease Patients: Case-Control Study of Romanian Adult. *Environ.Res.Public Health*, 2021, Vol. 10. <https://doi.org/10.3390/ijerph20053937>.
22. Robinson, H.; Macdonald, B.; Broadbent, E. The Role of Healthcare Robots for Older People at Home: A Review., *Int. J. Soc. Robot.*, 2014, Vol. 6,575-591.
23. Schacksen, C.S.; Henneberg, N.C.; Muthulingam, J.A.; Morimoto, Y.; Sawa, R.; Saitoh, M.; Morisawa, T.; Kagiya, N.; Takahashi, T.; Kasai, T.,. Effects of Telerehabilitation Interventions on Heart Failure Management (2015-2020): Scoping. Review, *MIR Rehabil. Assist. Technol.*, 2021, Vol. 8 (4). <https://doi.org/10.2196/29714>.
24. Owen, O.; O'Carroll,. The effectiveness of cardiac telerehabilitation in comparison to centre-based cardiac rehabilitation programmes: A literature review.,*J. Telemed. Telecare*, 2022. <https://doi.org/10.1177/1357633X221085865>.
25. Cordeiro, A.L.L.; Miranda, A.D.S.; de Almeida, H.M.; Santos,. Quality of Life in Patients with Heart Failure Assisted by Telerehabilitation: A Systematic Review and Meta-Analysis., *Int. J. Telerehabilitation*, 2022, Vol. 14 (1), e6456, doi: 10.5195/ijt.2022.6456.

## LISTA CU LUCRĂRILE ȘTIINȚIFICE PUBLICATE

1. **Maria-Alexandra Pană**, Ștefan-Sebastian Busnatu\*, Liviu-Ionuț Șerbănoiu, Electra Vasilescu, Nirvana Popescu, Cătălina Andrei, Crina-Julieta Sinescu, Reducing the Heart Failure Burden in Romania by Predicting Congestive Heart Failure Using Artificial Intelligence: Proof of Concept, *Applied Sciences*, 2021, 11, 11728. <https://doi.org/10.3390/app112411728>; <https://www.mdpi.com/1399270>, Factor Impact 2.838, (Capitol 2. Analiza vocală- marker predictor de decompensare al insuficienței cardiace);
2. Ștefan-Sebastian Busnatu, **Maria-Alexandra Pană\***, Andreea Elena Lăcraru, Cosmina-Elena Jercălău, Nicolae Păun, Massimo Caprino, Kai Gand, Hannes Schlieter, Sofoklis Kyriazakos, Cătălina Liliana Andrei, Crina-Julieta Sinescu, Patient Perception When Transitioning from Classic to Remote Assisted Cardiac Rehabilitation, *Diagnostics*, 2022, 12, 926. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12040926>; <https://www.mdpi.com/1578230>; Factor Impact 3.992, (Capitol 3. Asistentul virtual vCare- metodă de prevenție secundară a insuficienței cardiace);
3. Andreea-Elena Lăcraru, Ștefan-Sebastian Busnatu, **Maria-Alexandra Pană\***, Gabriel Olteanu, Liviu Șerbănoiu, Kai Gand, Hannes Schlieter, Sofoklis Kyriazakos, Octavian Ceban, Cătălina Liliana Andrei, Crina- Julieta Sinescu, Assessing the Efficacy of a Virtual Assistant in the Remote Cardiac Rehabilitation of Heart Failure and Ischemic Heart Disease Patients: Case-Control Study of Romanian Adult Patients, *Environmental Research and Public Health Journal*, 2021, 20, 3937. <https://doi.org.10.3390/ijerph20053937>; <https://www.mdpi.com/2154782>; Indexat PubMed, (Capitol 3. Asistentul virtual vCare- metodă de prevenție secundară a insuficienței cardiace);