

UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE
DEPARTAMENTUL DE CALCULATOARE



TEZĂ DE DOCTORAT

Telemetria Aplicațiilor Medicale și a Dispozitivelor Medicale
Purtabile
2022

Ing. Flavia Oprea

Coordonator științific:

Prof. Dr. Ing. Răzvan Rughiniș

BUCUREȘTI

2022

CONTENTS

1	Introducere	1
1.1	Context	1
1.2	Întrebări de cercetare	2
1.3	Contribuții	3
2	Dispozitive Purtabile pentru Monitorizarea Tulburărilor de Mișcare și Diagnosticarea Bolilor de Echilibru	5
2.1	Context Medical	5
2.1.1	Context	5
2.1.2	Monitorizare	5
2.2	ENTy - Un Dispozitiv Medical Purtabil pentru Testarea Echilibrului	7
2.2.1	Soluția Propusă	7
2.2.2	Interfața Grafică cu Utilizatorul	8
2.3	IRIS - Un Dispozitiv Purtabil pentru Monitorizarea Tulburărilor de Mișcare	10
2.3.1	Soluția Propusă	10
2.3.2	Interfața Grafică cu Utilizatorul	11
2.3.3	Testare și Validare	13
3	Gestionarea Medicamentelor Incluzând Interacțiuni Dintre Medicamente	16
3.1	Mediminder - Aplicație de Gestionare a Medicației și Notificări pentru Medicamente	16
3.1.1	Soluția Propusă	16
3.1.2	Implementarea Frontend	16
3.1.3	Implementarea Backend	19
3.1.4	Testare și Validare	19

3.2	PADDY - Un Asistent Digital pentru Rețete Medicale și Interacțiuni Medicamentoase	21
3.2.1	Soluție Propusă	21
3.2.2	Implementarea Frontend	22
3.2.3	Implementare backend	23
3.2.4	Testare și Evaluare	24
4	Jurnal Digital și Platformă Doctor-Pacient pentru Diabetici	26
4.1	Soluția Propusă	26
4.2	Implementare	27
4.2.1	Backend Implementation	27
4.3	Testare și Rezultate	30
4.3.1	Perspectiva Medicului	30
4.3.2	Perspectiva Pacientului	31
5	Concluzii	32
5.1	Contribuții	32
5.2	Lista de Publicații	35
5.2.1	Jurnale	35
5.2.2	Conferințe	35

SINOPSIS

Interacțiunea om-calculator în contextul sistemelor digitale de asistență medicală se referă la utilizarea tehnologiei, cum ar fi calculatoarele și programele informatice, pentru a îmbunătăți furnizarea de servicii de asistență medicală. Aceasta poate implica utilizarea dosarelor electronice de sănătate (DES), a telemedicinii și a altor instrumente digitale pentru a îmbunătăți comunicarea și colaborarea între practicienii din domeniul sănătății și pacienți. Scopul acestor sisteme este de a face asistența medicală mai eficientă, mai accesibilă și mai personalizată pentru pacienți. Interacțiunea om-calculator joacă un rol esențial în proiectarea și implementarea acestor sisteme, deoarece se concentrează pe crearea unei tehnologii ușor de utilizat și intuitive atât pentru furnizorii de servicii medicale, cât și pentru pacienți.

Această teză propune o abordare prietenoasă cu utilizatorul pentru crearea de soluții medicale în scopul de a împuternici atât pacientul, cât și medicul. Principalele noastre preocupări și obiective propuse sunt legate de găsirea limitelor soluțiilor actuale pentru monitorizarea tulburărilor de mișcare, de reducerea decalajului dintre progresele tehnologice actuale și utilizatorii reali, cu accent pe pacienții în vârstă, și de crearea de beneficii prin monitorizarea constantă medic-pacient și gestionarea medicamentelor. Prin intervierea neurologilor și a medicilor ORL cu privire la procedurile lor de diagnosticare, am propus și construit două dispozitive medicale portabile care diagnostichează bolile de echilibru și monitorizează persoanele cu tulburări de mișcare, cum ar fi boala Parkinson. Am dezvoltat o aplicație pentru gestionarea medicamentelor și o platformă pentru găsirea interacțiunilor dintre medicamente, pentru a evita nerespectarea tratamentului. În cele din urmă, a fost implementată o aplicație mobilă pentru jurnalul de diabet pentru o mai bună comunicare între pacient și medic. Contribuțiile dezvoltate au fost testate cu experți și pacienți, ca parte a metodologiei noastre centrate pe utilizator.

Cuvinte cheie: *interacțiune om-calculator, tehnologie în medicină, tulburări de mișcare, dispozitive medicale portabile, aplicații medicale, memento-uri de medicație, aderența tratamentului, interacțiuni medicamentoase, jurnal de diabet*

1 INTRODUCERE

În acest capitol, vom descrie contextul digitalizării sistemelor de sănătate și modul în care utilizatorul (profesionist sau neprofesionist) este implicat în acest proces. Vom prezenta întrebările și contribuțiile primare de cercetare pentru domeniul dispozitivelor medicale portabile și al aplicațiilor medicale, luând în considerare cea mai importantă parte interesată: utilizatorul, fie el pacient sau medic.

1.1 Context

În zilele noastre, tehnologia evoluează continuu, scopul fiind să revoluționeze fiecare domeniu în care poate fi aplicată: de la agricultură și educație la sănătate și finanțe. Există o gamă largă de proiecte, cercetări și companii care încearcă fie să îmbunătățească procesele actuale, fie să creeze o inovație disruptivă în domeniul lor.

Unul dintre cele mai interesante și sensibile domenii de inovare este cercetarea și dezvoltarea în sistemul de sănătate. Din păcate, acesta rămâne în urma altor domenii în ceea ce privește/în ceea ce privește popularitatea. Totul a început cu un pedomeru foarte simplu creat de Thomas Jefferson în 1788 [9] și a ajuns la dispozitive medicale care ne diagnostichează bolile sau chiar la soluții mai avansate, cum ar fi implanturile de nanoboți [10]. Toate aceste noi tehnologii din domeniul medical încearcă, în cele din urmă, să îmbunătățească calitatea vieții oamenilor.

Contextul actual al sistemelor de sănătate este unul caracterizat de o evoluție rapidă a tehnologiei și de o cerere tot mai mare de servicii de sănătate. Se pune din ce în ce mai mult accentul pe îngrijirea preventivă și pe utilizarea datelor și a tehnologiei pentru a îmbunătăți eficiența și eficacitatea furnizării asistenței medicale.

Multe sisteme de sănătate se confruntă, de asemenea, cu provocările legate de îmbătrânirea populației și de gestionarea bolilor cronice. În același timp, există o presiune tot mai mare asupra sistemelor de sănătate pentru a limita costurile și a îmbunătăți accesul la asistență medicală. În general, contextul actual al sistemelor de asistență medicală este unul de schimbare și adaptare continuă la noile tehnologii și la noile nevoi în materie de asistență medicală.

Dispozitivele medicale portabile sunt dispozitive concepute pentru a fi purtate pe corp și sunt adesea utilizate pentru a monitoriza sau urmări diverse aspecte ale sănătății unei persoane. Aceste dispozitive pot fi utilizate pentru a monitoriza parametri precum ritmul cardiac, activitatea fizică, somnul și alte semne vitale. Ele sunt adesea conectate la un smartphone sau la un alt dispozitiv, permițând utilizatorilor să își urmărească datele privind sănătatea și să le

împărtășească cu furnizorul de servicii medicale.

Aplicațiile medicale, pe de altă parte, sunt programe software concepute pentru a ajuta furnizorii de servicii medicale să diagnosticheze și să trateze pacienții. Aceste aplicații pot fi utilizate pentru a înregistra și urmărirea informațiilor despre pacienți, precum și pentru a oferi educație medicală și sprijin pentru profesioniștii din domeniul sănătății. În general, utilizarea dispozitivelor și a aplicațiilor medicale portabile devine din ce în ce mai frecventă în industria medicală, deoarece acestea oferă o modalitate convenabilă și eficientă de monitorizare și urmărire a stării de sănătate a unei persoane.

În general, implicarea utilizatorului în procesul de dezvoltare poate contribui la asigurarea faptului că dispozitivul sau aplicația medicală este concepută pentru a satisface nevoile și preferințele persoanelor care o vor utiliza.

1.2 Întrebări de cercetare

TCreierul este una dintre cele mai complexe părți ale corpului uman. Prin urmare, orice boală sau afecțiune legată de acesta este extrem de greu de diagnosticat și, în momentul de față, aproape imposibil de tratat.

Bolile neurodegenerative reprezintă un concept general pentru o serie de afecțiuni care afectează neuronii din creier, prin deteriorarea progresivă a structurii și funcției neuronale, inclusiv moartea neuronilor [14]. Din nefericire, nu există un tratament pentru acest proces. Singura modalitate de a îmbunătăți sau de a menține calitatea vieții unui pacient este monitorizarea constantă a stării sale și modificarea în consecință a medicației, în timp ce se află la domiciliu sau în timp ce se dovedește că beneficiază de îngrijire medicală la domiciliu. Singura problemă în acest caz este că, chiar dacă medicația poate fi eficientă la un moment dat, starea pacientului tot degenerează în timp. Așadar, până la descoperirea unui leac, automonitorizarea constantă și adaptarea în mod adaptiv a prescripțiilor este vitală pentru un rezultat pozitiv pe termen lung/menținerea calității vieții.

Un grup foarte frecvent de boli neurodegenerative sunt tulburările de mișcare. Aici putem numi câteva exemple bine cunoscute: Boala Parkinson, Tremorul esențial, Corea Huntington. Aceste tulburări au în comun următoarele simptome debilitante: tremor, mers greoi, pierderea echilibrului și postură precară [15]. Acești parametri trebuie să fie monitorizați în mod constant și, periodic, medicul trebuie să ajusteze tratamentul pe baza unui feedback simptomatic pozitiv sau negativ.

Pentru a combate această problemă, pacienții au acum acces la o mare varietate de gadgeturi medicale portabile care încearcă să permită autocontrolul în confortul propriei case. Cu toate acestea, majoritatea acestora au anumite dezavantaje nedorite, cum ar fi faptul că nu sunt atrăgătoare pentru a fi purtate, că nu oferă informații ușor de utilizat pentru pacient și că sunt prohibitive din punct de vedere al costurilor.

De cele mai multe ori, pacienții care au probleme în a urma tratamentele o fac din cauza complexității prescripției și a altor probleme din viața lor. De exemplu, cercetările indică faptul că aproximativ 69% dintre pacienții chinezi cu epilepsie raportează uitarea ca fiind principalul factor asociat cu nerespectarea tratamentului [46]. Cercetări similare efectuate în Brazilia demonstrează că complexitatea tratamentului este strâns legată de scăderea aderenței [47]. Studiul sugerează, de asemenea, că reducerea complexității tratamentului crește semnificativ probabilitatea ca pacienții să respecte tratamentul prescris. Cu toate acestea, acest lucru nu este întotdeauna valabil pentru alte boli, cum ar fi diabetul, insuficiența cardiacă congestivă și bolile renale [48].

Prin urmare, uitarea și complexitatea tratamentului sunt principalele obstacole în calea administrării corecte a medicamentelor, iar acestea sunt problemele pe care proiectul nostru va încerca să le abordeze în capitolele următoare.

Pentru a aborda aceste aspecte, propunem următoarele întrebări de cercetare:

- Q1 Care sunt principalele limitări ale soluțiilor actuale de monitorizare a tulburărilor de mișcare și care este impactul acestora asupra tratamentului medical?
 - Cum putem proiecta un dispozitiv medical pentru medicii ORL care să furnizeze suficiente date de calitate, intervenind în același timp cât mai puțin în viața pacientului?
 - Care sunt parametrii optimi pentru monitorizarea unui dispozitiv de monitorizare neintruzivă pentru boala Parkinson - care ar permite medicilor să aibă date suplimentare de calitate privind evoluția pacientului lor?
 - Cum putem da posibilitatea neurologilor de a avea la dispoziție date pe termen lung despre pacienții lor, pentru a permite noi opțiuni de diagnostic bazate pe monitorizarea pe termen lung?
- Q2 Cum putem reduce decalajul dintre progresele tehnologice actuale în ceea ce privește dispozitivele mobile și serviciile cloud și utilizatorii reali - cu accent pe pacienții mai în vârstă care nu sunt atât de familiarizați cu tehnologia?
 - Cum poate tehnologia să le permită îngrijitorilor să sprijine pacienții cu tratament pe termen lung să își urmeze planul de medicație?
 - Cum putem determina un echilibru între un număr suficient de notificări și un nivel acceptabil de intruziune?
- Q3 Poate o monitorizare și o comunicare constantă între medici și pacienți să ofere beneficii medicale suplimentare pacienților care suferă de diabet?

1.3 Contribuții

Această teză a început cu o analiză a problemelor pe care medicii și pacienții seniori le au cu privire la tratamentele specifice care devin standard în viața pacienților odată ce au fost

diagnosticați. Am validat aceste provocări prin realizarea de interviuri cu pacienții pentru a înțelege mai bine problemele și cererile lor legate de monitorizarea la domiciliu, urmărirea activităților, gestionarea medicamentelor și, în anumite cazuri, ținerea unui jurnal al evoluției bolii.

Pentru a rezuma contribuțiile și pentru a le corela cu subiectele de cercetare prezentate în secțiunea anterioară, se oferă următoarea prezentare generală:

C1 Am construit și testat două dispozitive portabile pentru diagnosticarea bolilor de echilibru [8], [7] și, respectiv, pentru monitorizarea tulburărilor de mișcare [2].

- Prin realizarea de interviuri cu utilizatorii și cercetări observaționale cu medici și pacienți, am determinat problema și nevoia acestora.
- Am dezvoltat o aplicație software și un dispozitiv purtabil postural care înregistrează mișcările unui pacient și oferă o evaluare a tulburărilor de echilibru.
- Am dezvoltat o aplicație software și un dispozitiv purtabil postural care înregistrează mișcările unui pacient și oferă o evaluare a tulburărilor de echilibru.
- Am testat ambele soluții cu experți (neurologi și medici ORL) și cu pacienții lor pentru a concluziona că produsele noastre oferă date de ieșire mai bune și același rezultat ca și alte sisteme de sănătate combinate.

C2 Am implementat o aplicație pentru gestionarea și reamintirea medicamentelor [3], împreună cu o platformă care detectează interacțiunile dintre medicamente [1].

- Am realizat interviuri cu medici și pacienți și am analizat comportamentul acestora în ceea ce privește gestionarea medicamentelor și gradul de conștientizare a aderenței la tratament.
- Am implementat o aplicație mobilă prin care pacienții își adaugă tratamentul și setează diferite cronometre pentru reamintirea medicației. Va fi generat un jurnal cu modul în care au luat medicamentele, iar medicul lor îl poate folosi la control.
- Am dezvoltat o platformă în care atât pacienții, cât și medicii pot căuta un medicament pe baza substanței sale și pot găsi interacțiunile dintre medicamente.
- Am dezvoltat o platformă în care atât pacienții, cât și medicii pot căuta un medicament pe baza substanței sale și pot găsi interacțiunile dintre medicamente.

C3 Am dezvoltat o aplicație mobilă pentru jurnale digitale și comunicare între medic și pacient pentru diabetici [4].

- Am realizat interviuri cu diabetologi și cu pacienții lor și am analizat comportamentul acestora în ceea ce privește urmărirea evoluției anumitor parametri ai bolii lor.
- Am implementat o aplicație mobilă în care pacienții își scriu jurnalul despre evoluția diabetului.
- Am testat soluția cu medici și pacienți pentru a valida dacă aplicațiile pot ajuta pacienții care urmează un tratament pe termen lung să își urmeze planul de medicație.

2 DISPOZITIVE PURTABILE PENTRU MONITORIZAREA TULBURĂRILOR DE MIȘCARE ȘI DIAGNOSTICAREA BOLILOR DE ECHILIBRU

2.1 Context Medical

2.1.1 Context

În acest capitol, explorăm limitele soluțiilor actuale de diagnosticare și monitorizare a tulburărilor de echilibru și de mișcare. Propunând o metodologie pentru dezvoltarea și proiectarea unor dispozitive medicale portabile ușor de utilizat, am implementat ENTy și IRIS. Prima contribuție constă într-un dispozitiv postural care înregistrează mișcările unui pacient și poate diagnostica o tulburare de echilibru. A doua contribuție este un set de două dispozitive portabile (posturale și de încheietură) pentru monitorizarea persoanelor cu tulburări de mișcare, cum ar fi boala Parkinson.

Neuronii din creier pot muri ca urmare a bolilor neurodegenerative, care fac ca neuronii din creier să își piardă treptat structura sau funcția. Este esențial să se evalueze îndeaproape starea unui pacient și să se facă ajustări continue ale tratamentului în funcție de situația de viață actuală a acestuia, pentru a îmbunătăți sau menține calitatea vieții pacientului. Tremorul, mersul greoi, pierderea echilibrului și postura proastă se numără printre simptomele cauzate de aceste boli. În prezent, nu există nicio măsurătoare obiectivă pentru monitorizarea tulburărilor neurodegenerative, ceea ce înseamnă că judecățile care se fac sunt supuse unui element de subiectivitate. Pacienții trebuie să se monitorizeze singuri la domiciliu și, ulterior, să revină la cabinetul medical pentru evaluarea și îmbunătățirea tratamentului.

Într-un efort de a contracara această problemă, pacienții au acum acces la o gamă largă de dispozitive medicale portabile care sunt concepute pentru a le permite să efectueze autocontrolul în confortul propriilor case. Cu toate acestea, marea majoritate a acestora au o serie de limitări nefavorabile, cum ar fi faptul că sunt inconfortabile la purtare, că nu oferă pacientului date ușor de înțeles și că sunt excesiv de scumpe.

2.1.2 Monitorizare

Următoarea etapă după ce a fost diagnosticată o boală neurodegenerativă este monitorizarea pacientului. Din păcate, din cauza lipsei de tratament pentru tulburările de mișcare, singura soluție pentru ameliorarea/reducerea simptomelor este monitorizarea continuă a pacientului și

adaptarea regulată a tratamentului, pe baza datelor medicale colectate și analizate la domiciliu.

Acest proces de monitorizare începe încă din prima zi de diagnosticare. Un medic sau o asistentă medicală va efectua un test asupra pacientului numit Scala unificată de evaluare a bolii Parkinson (UPDRS) pentru a defini starea actuală a pacientului [23]. Acest test constă în 50 de întrebări despre viața pacientului și despre cât de ușor își poate folosi mâinile sau corpul pentru a efectua acțiuni simple. Pentru a avea rezultate obiective, răspunsurile la întrebări sunt date pe o scală unipolară în 5 puncte, de la 0 la 4, fiecare semnificație fiind prezentată în Tabelul 1.

Table 1: Evaluarea pentru Scala Unificată de Evaluare a Bolii Parkinson.

Number	Meaning	Clinical Severity	Frequency Percentage
0	Normal	Absent	0% of the day
1	Slight	Slight and infrequently present	less than 25% of the day
2	Mild	Mild and persistent	26-50% of the day
3	Moderate	Moderate and present most of the time	52-75% of the day
4	Severe	Marked and present most of the time	more than 75% of the day

În urma acestei evaluări, neurologul prescrie pacientului un tratament de bază de primă intenție și îi cere să revină peste 6 luni pentru un control. În această perioadă, în timp ce pacientul locuiește la domiciliu, se recomandă ca acesta să țină un jurnal în care să înregistreze toate observațiile referitoare la starea sa, concentrându-se pe simptomele cheie, care includ echilibrul, postura, mersul și tremorul, pentru o imagine clinică completă.

După un număr specificat de luni, pacientul se va întoarce la spital și va fi supus testelor menționate mai sus, inclusiv Scala Unificată de Evaluare a Bolii Parkinson [24]. Pe baza jurnalului de observație și a noilor teste, medicul va determina care simptome s-au ameliorat și va face ajustările corespunzătoare ale tratamentului. În funcție de starea pacientului, medicul îl poate sfătui să revină peste 6 sau 12 luni.

Acest proces se repetă pe tot parcursul vieții pacientului. Pe măsură ce afecțiunea progresează și simptomele devin mai severe sau, în unele cazuri, sunt atenuate într-o oarecare măsură, pacientul trebuie să fie evaluat în mod regulat și să i se administreze doze și combinații de medicamente ajustate. Motivul principal pentru schimbarea regulată a prescripției este că, dacă simptomele nu sunt gestionate rapid, acestea pot evolua în evenimente negative grave, cum ar fi căderi și accidente, din cauza efectului secundar al presiunii arteriale ortostatice dereglate.

Cea mai mare problemă cu această procedură este că toată monitorizarea la domiciliu este de obicei efectuată de către pacient și, uneori, de către un îngrijitor neprofesionist. Acest lucru duce la o evaluare subiectivă și, ca urmare, la un tratament nepotrivit și întârziat pentru pacient.

2.2 ENTy - Un Dispozitiv Medical Purtabil pentru Testarea Echilibrului

2.2.1 Soluția Propusă

Un scurt rezumat al evoluțiilor pozitive și negative ar putea fi făcut înainte de a începe: Vestea bună este că standardele tehnologice moderne permit o instalare mai fiabilă și mai simplă a modulelor hardware și software în produse. Vestea proastă este că, chiar dacă tehnologia se dezvoltă mai rapid, pentru dezvoltatori poate fi încă o provocare să aleagă hardware-ul sau software-ul potrivit pentru a răspunde cât mai bine cerințelor produsului lor.

Această propunere oferă o soluție pentru un echipament medical care va ajuta orice otorinolaringolog să diagnosticheze cu precizie echilibrul unui pacient. În domeniul medical actual, diagnosticarea vertijului sau a oricărui alt tip de problemă de dezechilibru la pacienți se face în primul rând prin teste medicale specifice. În cadrul acestor examinări, evaluarea posturală este scopul final, iar mișcările pacientului sunt captate și sesizate cu ajutorul unui echipament mare sau al unor camere foto. Pentru a pune în aplicare abordarea noastră, se utilizează o modestă aplicație informatică asistată de hardware și instrumente comerciale de ultimă generație.

Unitățile hardware, cunoscute adesea sub numele de unități vii, sunt acele părți ale sistemului care realizează măsurători precise sau permit monitorizarea în timp real a mișcărilor pacientului. Senzorii, modulele de colectare a datelor și modulele de comunicare prin aer sunt exemple de astfel de componente. Acestea servesc drept primul set de decodificatoare pentru modificările posturale efectuate de pacienți în timpul examinărilor medicale, modificări care permit medicilor să identifice orice semn crucial privind evoluția pacientului. Senzorul magnetometru, senzorul giroscop și senzorul accelerometru sunt senzorii de stabilitate conținuți în unitatea de măsurare inerțială (IMU), care este unitatea activă care îi controlează și le unește ieșirile într-un rezultat de nivel superior. Intrarea este obținută de la pacient, iar ieșirea IMU este transmisă la unitatea statică a clientului - care va fi discutată mai detaliat - prin intermediul Bluetooth, pe calea aerului.

Unitățile software, adesea denumite unități statice, sunt recunoscute ca fiind procesoare de date care procesează feedback-ul de la mișcările pacientului de-a lungul timpului, precum și unități precum redarea, o interfață utilizator sau rezultatele testelor care funcționează independent de schimbările din mediul fizic. Figura 1 prezintă arhitectura software stratificată a aplicației ENTy. Tehnologia Bluetooth este utilizată pentru a conecta dispozitivul și aplicația client.

În funcție de progresele hardware, de cerințele sau de problemele de compatibilitate ale medicilor care au efectuat examinarea, aplicația a trecut prin trei versiuni diferite. Deși cel mai evident avantaj al celei mai recente versiuni față de cea anterioară este consumul redus de energie, în prezent mai multe platforme Windows nu sunt acceptate de această tehnologie.

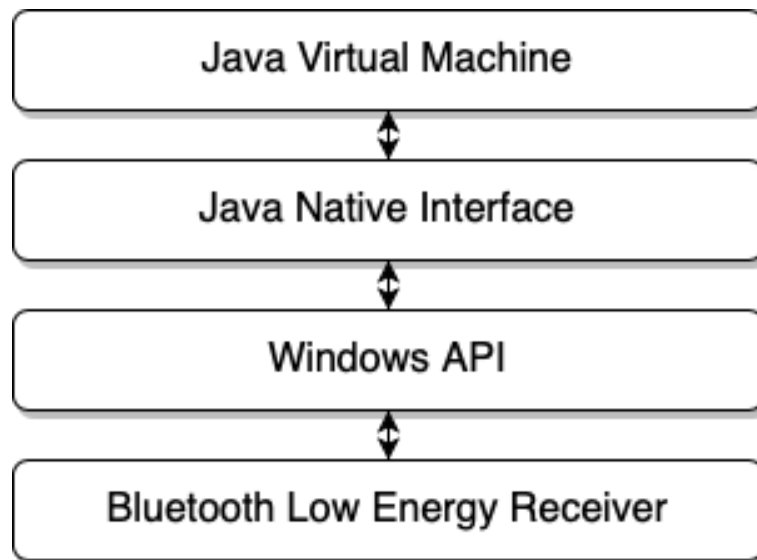


Figure 1: Arhitectura Software Propusă pentru Soluția ENTy.

2.2.2 Interfața Grafică cu Utilizatorul

A doua versiune a interfeței grafice are o abordare diferită de prima. Medicul alege testele care vor fi efectuate pe pacient în a doua etapă a fluxului de utilizator al medicului, care este reprezentată de o listă mică de casete de selectare. Această versiune a aplicației încorporează patru teste de echilibru, așa cum este ilustrat în figura 2. Aceasta este o etapă crucială în progresul aplicației și în îmbunătățirile care au fost realizate. După cum s-a menționat anterior, medicii au văzut nevoia unui protocol care să le permită să sară peste necesitatea permanentă de a apăsa butoanele de pornire pentru ca testele dorite să fie efectuate. Această funcție este acum disponibilă cu această versiune a software-ului. În plus, medicul are la dispoziție patru tipuri diferite de teste: Romberg simplu, două teste Romberg sensibilizate (stânga și dreapta) și testul Unterberger. Examenul Unterberger durează două minute, în timp ce testele Romberg durează în colectiv aproximativ 60 de secunde. Astfel, un medic va avea la dispoziție un total de trei minute pentru a efectua patru teste pe un singur pacient, în timp ce rezultatele sunt trimise direct pe PC sau pe laptop. Testele vor fi efectuate în ordinea de verificare și nu în ordinea de selecție. De exemplu, dacă un medic a ales Unterberger mai întâi și Romberg apoi Romberg, procedura va efectua mai întâi Romberg și apoi Unterberger, nu invers.

Medicii au considerat redarea în timp real ca fiind un avantaj, de aceea nu au fost făcute multe modificări la diagramele din figura 3. Graficul care arată echilibrul ante-posterior pentru efectuarea testului Unterberger a suferit cea mai semnificativă modificare. Amplasarea elementelor grafice diferă oarecum între cele două versiuni. În stânga, există două figuri asemănătoare cu cele umane care se pot roti înainte-înapoi sau lateral, cartografiind mișcarea pacientului în timp real. În plus, va fi afișată o valoare numerică în timp real a unghiului de înclinare. Pe măsură ce cronometrul testului ticăie și pacientul se mișcă, două diagrame vor fi desenate în mijlocul ecranului. Parametrii de echilibru lateral și de echilibru ante-posterior, care sunt doi



Figure 2: Reprezentarea ENTy la selectarea testelor de echilibru care urmează să fie efectuate - versiunea 2 a interfeței grafice (GUI)

parametri unici care sunt observați, vor fi desenați în culori diferite, astfel încât medicul să poată distinge cu ușurință, între ele. Avem un cadran în dreapta cu un punct roșu în interiorul unei regiuni verzi, care arată limita de siguranță, care este considerată ca fiind intervalul normal. Punctul roșu va urmări acțiunea și evoluția cuiva de îndată ce pacientul începe să se miște. Deplasarea în afara regiunii limită este un criteriu de diagnostic necesar pentru ca un pacient să sufere de tulburări de echilibru. În această situație, limita de siguranță se va schimba din verde în roșu, așa cum se arată în figura 3, alertând medicul că pacientul a avut o performanță slabă, prezentând unghiuri de înclinare anormale. După cum se poate observa, elementele grafice sunt concepute astfel încât oricine, profesionist medical sau neexpert, să le poată înțelege cu ușurință.



Figure 3: Reprezentarea ENTy în timpul observării datelor în timp real de la pacienți - versiunea 2 a interfeței grafice (GUI)

Acțiunea finală și ecranul final sunt practic identice cu cele prezentate pentru versiunea inițială a programului. Designul butoanelor și aspectul general al programului sunt singurele modificări

care pot fi observate în figura 4. Atunci când se încearcă să se urmărească evoluția centrului de greutate, acest panou specific afișează toate informațiile legate de rezultat. Este clar din figura 4 că rezultatele sunt afișate în trei casete distincte. Pentru diverși parametri afișați, fiecare dintre aceste vizualizări utilizează mișcarea și coordonatele pacientului pe parcursul examinării. Echilibrul lateral al testului Romberg al unui pacient va fi afișat în prima casetă. Cele două linii verzi reprezintă limitele acceptabile ale testului, în timp ce linia roșie reprezintă intervalul real de mișcare a echilibrului lateral al pacientului. Testul va fi considerat un eșec dacă pacientul depășește oricare dintre aceste limite, moment în care medicul va diagnostica vertijul și va efectua alte proceduri de testare pentru a căuta orice comorbidități asociate. Cea de-a doua cutie funcționează pe aceleași principii, dar îi lipsește mișcarea de echilibru frontal din spate în față. Limita din față este în mod clar mult mai înaltă decât cea din spate. Datorită faptului că un pacient care se înclină în spate are un risc mai mare de cădere decât dacă s-ar înclina în față. Un oval verde în ultima căsuță desemnează un interval normal acceptabil de mișcare/înclinare. În timpul celor 20 de secunde ale testului, coordonatele precise ale pacientului sunt indicate prin punctele roșii. După cum putem vedea, datele sunt extrem de exacte, iar medicul va putea determina dacă un pacient are o problemă de echilibru și dacă are nevoie de teste suplimentare în funcție de prezența și cantitatea de puncte care indică mișcări anormale.

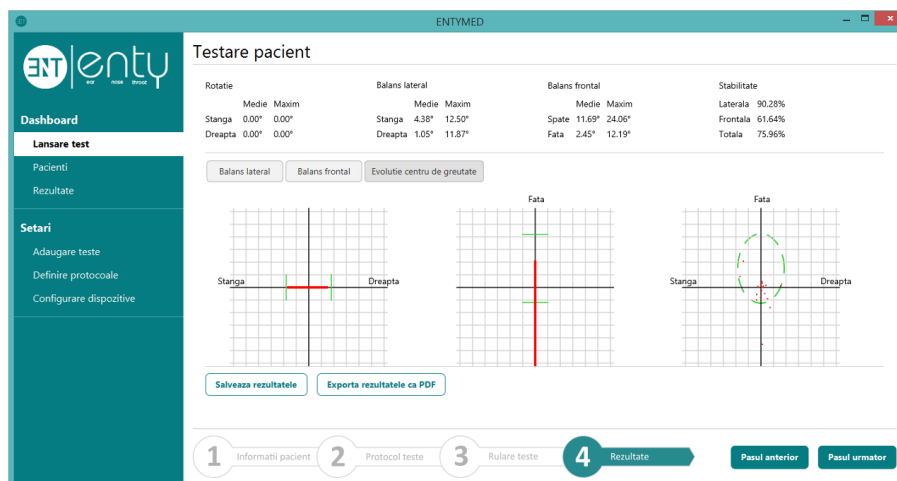


Figure 4: Reprezentarea ENTy cu rezultatele finale ale pacientului

2.3 IRIS - Un Dispozitiv Purtabil pentru Monitorizarea Tulburărilor de Mișcare

2.3.1 Soluția Propusă

Dorim să construim două dispozitive principale: unul care va fi atașat la mâna pacientului și va monitoriza tremorul de la încheietura mâinii, iar altul care va fi atașat la spatele pacientului și va evalua mersul, echilibrul și postura pacientului. În plus, ceasul de mână va fi însoțit de

un inel inteligent care poate monitoriza tremorul de la degetul utilizatorului. Bluetooth va fi mediul prin care ambele dispozitive primare vor comunica cu o aplicație. Vom stoca și procesa datele sensibile ale pacientului în cloud. Acest lucru ne va permite să garantăm anonimatul total al datelor, precum și siguranța acestora. Rezultatele acestei precesări vor fi livrate ulterior aplicației. Faptul că pacientului i se permite să se deplaseze liber în timpul examinărilor și că medicul poate dispune de dispozitive portabile reprezintă principalul beneficiu al acestui scenariu. Acest lucru permite o mai mare flexibilitate în programare și vine în întâmpinarea pacienților care s-ar putea să nu se poată deplasa la spital pentru programările lor. Arhitectura simplificată a soluției propuse este defalcată și ilustrată în figura 5.

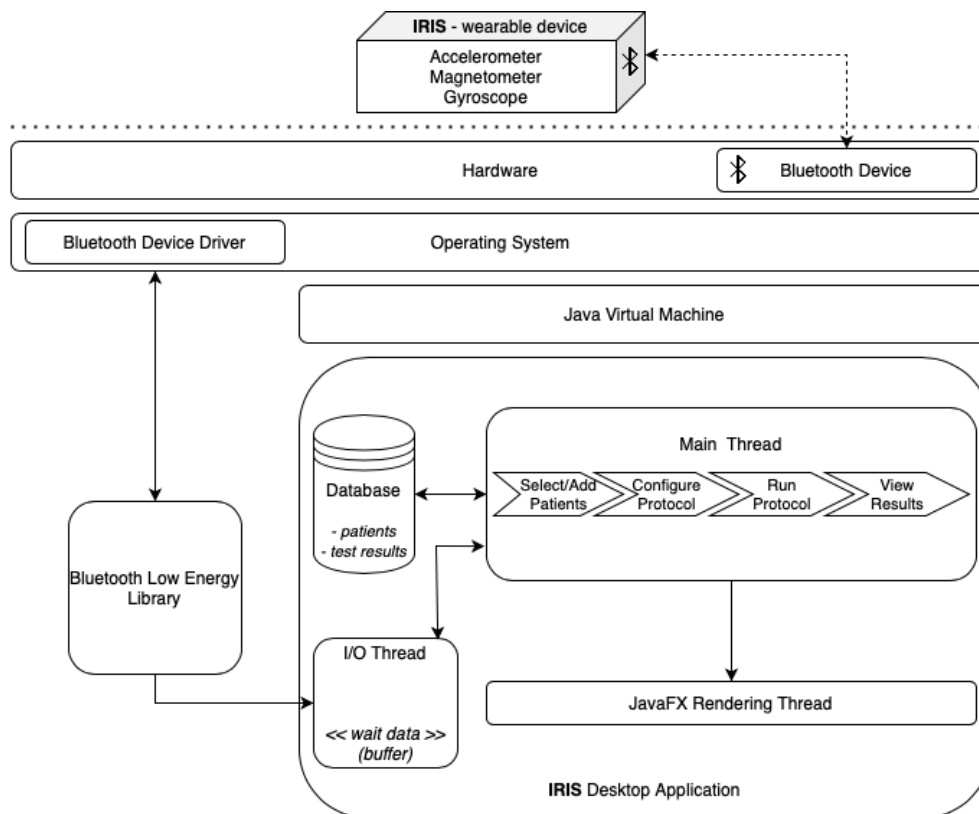


Figure 5: Arhitectura software pentru IRIS.

2.3.2 Interfața Grafică cu Utilizatorul

O interfață grafică cu utilizatorul (GUI), un strat de comunicare între unitățile software și hardware, o unitate de intrare și ieșire (I/O), un mediu de execuție și o bază de date de postprocesare sunt toate componente ale soluției software. Fiecare dintre aceste componente este tratată într-un mod distinct și fiecare este responsabilă pentru rularea propriului fir de execuție. Primul pas pe care îl va efectua un medic este montarea dispozitivelor necesare pe pacientul său, în funcție de tipul de teste care trebuie evaluate. Un dispozitiv va fi montat la încheietura mâinii sub forma unui smartwatch, iar un dispozitiv va fi montat pe spatele pacientului cu ajutorul unui ham care se mulează pe talie. Acum, medicul se poate conecta la aplicația IRIS.

Următorul pas va include selectarea dispozitivelor care vor fi conectate. Acest lucru se datorează faptului că, în anumite teste și cazuri, este posibil să fie nevoie să conectăm mai multe dispozitive, inclusiv un dispozitiv purtat la încheietura mâinii și un dispozitiv purtat pe spate. Bluetooth este forma primară de tehnologie de comunicare, prin urmare, disponibilitatea acestei capacități este direct atribuită acestui fapt. În plus, pentru o versiune ulterioară, plănuim să atașăm mai multe dispozitive IRIS la diferite secțiuni ale corpului. Acestea ne vor oferi posibilitatea de a evalua parametri suplimentari, care ne vor fi de ajutor în procesul de diagnosticare și monitorizare a unei varietăți de afecțiuni. În urma acestui pas, medicul va selecta testul Resting Tremor Assessment pentru testul care va fi efectuat pe mâna pacientului. În figura 6 se poate observa frecvența și amplitudinea tremorului mâinii și al degetelor. Medicul poate alege afișarea în direct a datelor produse fie de tremorul mâinii, fie de cel al degetelor.

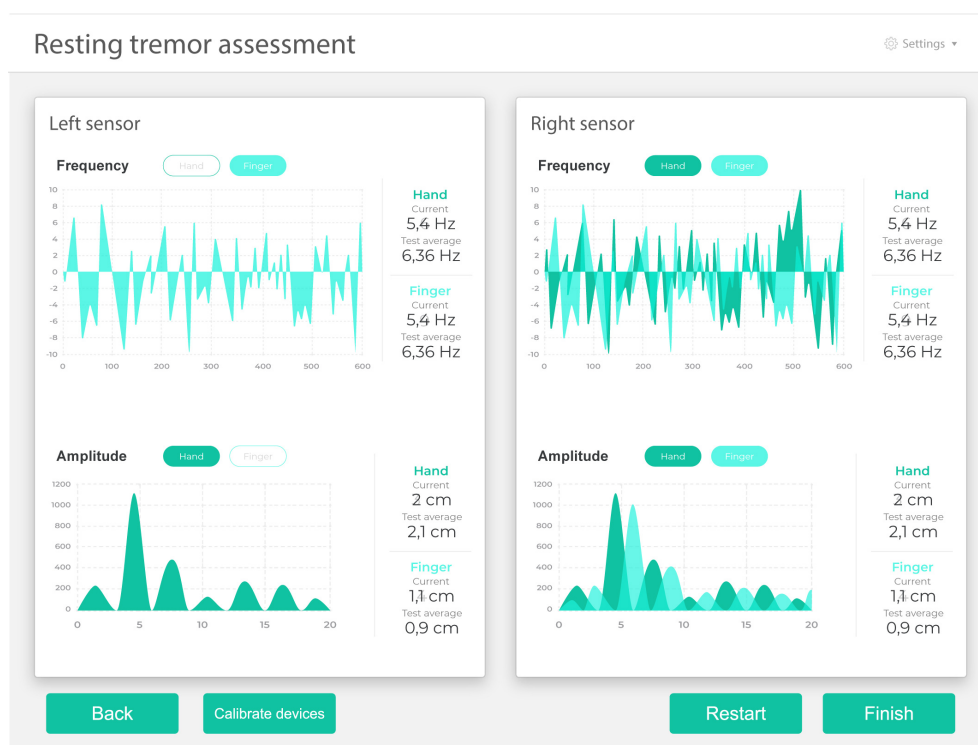


Figure 6: Reprezentarea interfeței grafice IRIS pentru evaluarea tremorului.

Un dispozitiv este instalat la încheietura mâinii pacientului, iar celălalt dispozitiv este montat pe spatele pacientului. La începutul fiecărei evaluări, medicul trebuie să calibreze dispozitivele pe care tocmai le-a montat pe pacient. Deoarece înălțimea, tipul de corp și posturile naturale ale oamenilor variază, a fost esențial pentru noi să ținem cont de acest aspect în timpul proiectării produselor.

Conform aceluiași studiu [41], testul Romberg este doar un instrument de diagnosticare pe care un profesionist din domeniul medical l-ar folosi pentru a stabili dacă un pacient suferă sau nu de vreo boală. Acest test are potențialul de a detecta vertijul la prima vedere; cu toate acestea, va fi întotdeauna necesar să se facă investigații suplimentare, cum ar fi testul Romberg sensibilizat sau testul Unterberger's Stepping [42].

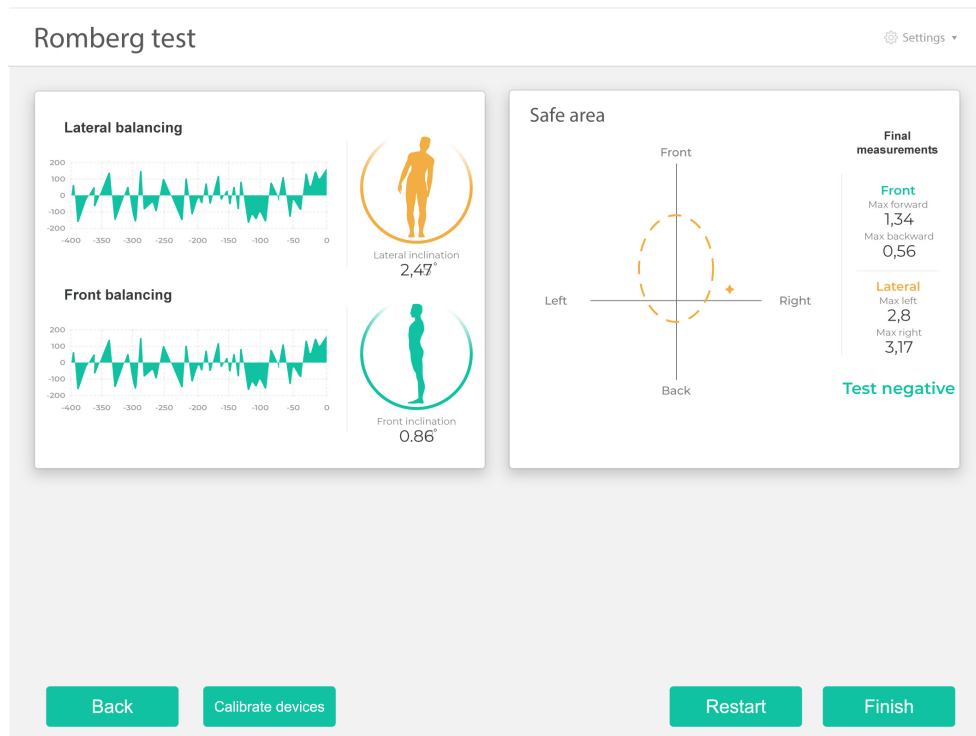


Figure 7: Reprezentarea interfeței grafice IRIS atunci când se execută testul Romberg.

În cele din urmă, datele vor fi prezentate, iar medicul curant va putea examina istoricul medical al pacientului, așa cum este demonstrat în figura 8. În partea stângă a ecranului, putem să vedem date generale despre pacient, cum ar fi numărul de identificare, înălțimea, greutatea, data nașterii și diagnosticul oficial al afecțiunii, precum și momentul în care aceasta a apărut pentru prima dată și orice simptome unice cu care se poate confrunta. În plus, orice afecțiuni asociate, teste anterioare și medicamente curente sunt considerate relevante și, ca urmare, sunt prezentate în casete de încadrare verzi.

În partea dreaptă a ecranului din Figura 8, avem istoricul medical al pacientului, care include testele IRIS care au fost efectuate în trecut. Testele pe care pacientul le-a trecut cu succes sunt marcate cu verde, în timp ce testele care încadrează potențiale probleme, împreună cu simptomele pe care le poate avea pacientul, sunt notate cu roșu.

2.3.3 Testare și Validare

În această secțiune, vom prezenta perspectivele și cunoștințele acumulate cu privire la produsul care este dedicat feedback-ului și testării. Obiectivul nostru a fost de a efectua testele implementate pentru simptome specifice pe zece pacienți diferiți și de a obține feedback din partea medicului curant cu privire la corectitudinea soluției noastre și la similitudinea acesteia cu alte potențiale soluții.

Testul Romberg, care evaluează echilibrul și postura unui pacient, a fost efectuat pe fiecare dintre primii zece pacienți în mod individual la începutul procesului de evaluare. Pacientul va

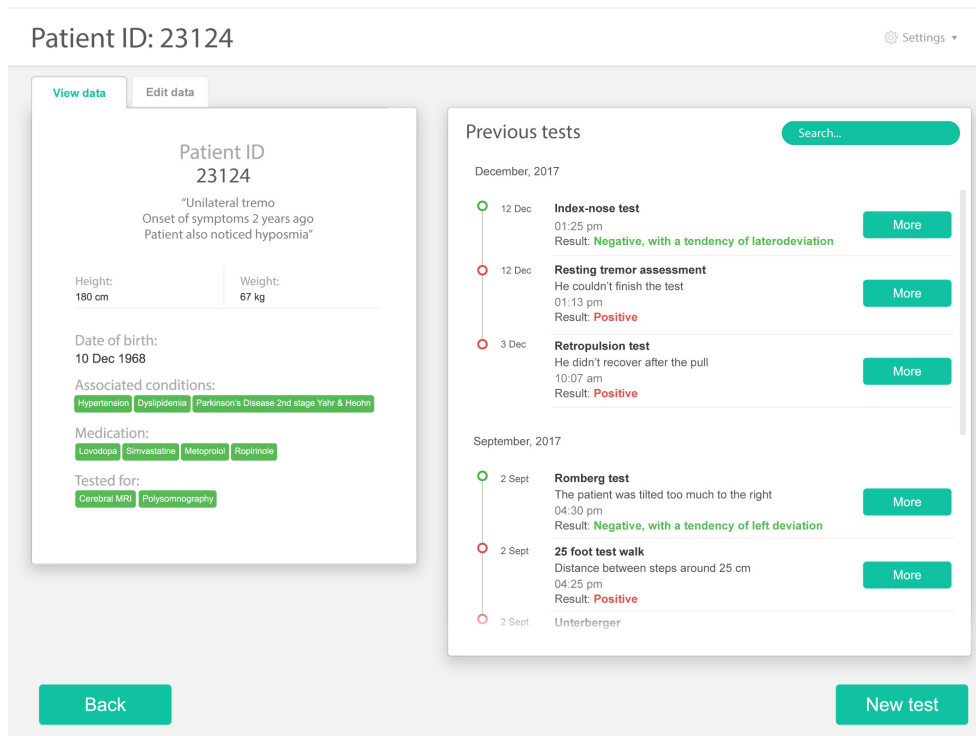


Figure 8: Reprezentare a interfeței grafice IRIS cu ecranul de rezultate medicale

fi rugat să rămână nemișcat timp de 20 de secunde cu ochii închiși, în timp ce vor fi examinate următoarele măsurători, inclusiv rotația, echilibrul frontal, echilibrul lateral și mișcarea centrului de greutate.

Putem examina toate rezultatele testelor Romberg în tabelul 2. Acestea au fost efectuate sub supravegherea unor profesioniști din domeniul medical, iar diagnosticele obținute au fost comparate între ele, pentru a se stabili în ce măsură acestea diferă de rezultatele altor teste Romberg. Concluziile la care s-a ajuns, precum și diagnosticul obținut au fost aceleași.

Am decis să folosim testul Unterberger pentru cel de-al doilea set de evaluări pe care l-am efectuat. În timpul acestei proceduri, pacientului i se cere să mărșăluiească pe loc cu ochii închiși pentru o perioadă de două minute. Vor fi evaluate următoarele criterii: stabilitatea laterală și frontală; echilibrul frontal și lateral; echilibrul frontal și lateral de la stânga la dreapta și de la dreapta la stânga. Evaluarea echilibrului și a mersului unui pacient, care se referă la modul în care pacientul merge din punctul A în punctul B, este un test foarte important de efectuat. La prima vedere, ar putea părea o examinare banală, dar, în realitate, atunci când este efectuată într-o cameră care a fost izolată fonic, pacienții au tendința de a se îndepărta de unde au plecat și de a forma un unghi față de axa frontală inițială. Rotația pacientului, precum și poziția de pornire și poziția finală a acestuia la sfârșitul testului sunt cele două aspecte ale acestei evaluări cărora medicul curant le acordă cea mai mare importanță. Rezultatele testului Unterberger efectuat pe 10 pacienți diferiți sunt prezentate în tabelu 3 pentru a fi consultate.

Table 2: Rezultatele pentru testul Romberg.

Tests Side	Rotation - average		Frontal Balance - average		Lateral Balance - average	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right
P1	4.27°	1.89°	0.49°	0.81°	1.53°	1.18°
P2	1.03°	3.34°	0.22°	0.54°	0.91°	1.12°
P3	7.36°	4.99°	2.95°	3.12°	1.78°	2.31°
P4	3.66°	1.12°	0.89°	0.98°	1.39°	0.89°
P5	6.25°	4.98°	1.42°	1.89°	2.72°	1.72°
P6	2.34°	1.36°	0.62°	0.91°	1.34°	1.63°
P7	4.10°	2.37°	0.55°	0.83°	1.28°	1.18°
P8	7.88°	5.87°	11.98°	2.48°	4.57°	2.73°
P9	1.09°	1.92°	1.29°	0.99°	1.83°	0.29°
P10	2.36°	2.28°	0.93°	1.29°	1.48°	0.93°

Table 3: Rezultatele pentru testul Unterberger.

Tests Side	Stability - average		Frontal Balance - average		Lateral Balance - average	
	Lateral	Frontal	Left	Right	Left	Right
P1	98.12%	98.89%	1.27°	1.79°	2.10°	1.98°
P2	98.89%	99.95%	0.38°	0.74°	0.82°	1.32°
P3	98.45%	99.78%	0.73°	0.98°	1.76°	1.24°
P4	99.01%	99.92%	0.53°	0.82°	0.91°	0.89°
P5	99.78%	98.89%	1.38°	1.01°	1.29°	0.25°
P6	99.56%	99.78%	0.63°	0.91°	1.23°	1.02°
P7	95.45%	91.12%	11.69°	3.48°	4.37°	1.05°
P8	98.45%	97.56%	2.08°	3.65°	1.72°	2.12°
P9	98.89%	99.12%	0.84°	1.46°	1.29°	0.72°
P10	98.99%	99.95%	0.55°	0.89°	1.61°	1.19°

3 GESTIONAREA MEDICAMENTELOR INCLUZÂND INTERACȚIUNI DINTRE MEDICAMENTE

În acest capitol, analizăm implicațiile aderenței la tratament, motivele și consecințele neaderenței pacienților. Realizând interviuri cu utilizatori profesioniști și neprofesioniști, propunem două soluții complementare pentru gestionarea medicației și pentru găsirea interacțiunilor dintre medicamente. În prima contribuție, dezvoltăm o aplicație mobilă pentru gestionarea tratamentului, concepută pentru a ajuta pacienții să își urmeze rețeta, să îmbunătățească aderența la tratament și să prevină supradozajul. În cea de-a doua contribuție, implementăm o platformă prin care utilizatorii pot fi alertați cu privire la interacțiunile medicamentoase potențial dăunătoare, punând pacientului un depozit de medicamente ușor accesibil și o mai bună înțelegere a interacțiunilor dintre medicamentele furnizate.

3.1 Mediminder - Aplicație de Gestionare a Medicației și Notificări pentru Medicamente

3.1.1 Soluția Propusă

În această secțiune este propusă o aplicație mobilă ca soluție la problema aderenței scăzute la tratament. Vor fi descrise funcționalitatea și scenariile de utilizare a soluției software bazate pe aplicația mobilă.

Așa cum este descrisă în figura 9, arhitectura software a aplicației este formată din trei elemente principale: frontend, backend și baza de date. Front-end-ul este legat de backend prin intermediul unei API REST, care este legată de baza de date prin intermediul unei interfețe CRUD. Partea de client a aplicației este o aplicație Flutter datorită performanței sale, documentației excelente și widget-urilor gata făcute și personalizabile. Flutter permite, de asemenea, o dezvoltare rapidă, ceea ce reprezintă un beneficiu semnificativ pentru abordarea noastră incrementală cu prototiparea - ciclul de îmbunătățire. Următoarea secțiune va detalia arhitectura frontend.

3.1.2 Implementarea Frontend

După cum s-a descris în capitolul anterior, partea de client a proiectului este construită cu Flutter. Flutter este setul de instrumente de interfață utilizator mobil al Google, cu trei componente esențiale. În primul rând, un kit de dezvoltare software (SDK), o colecție de

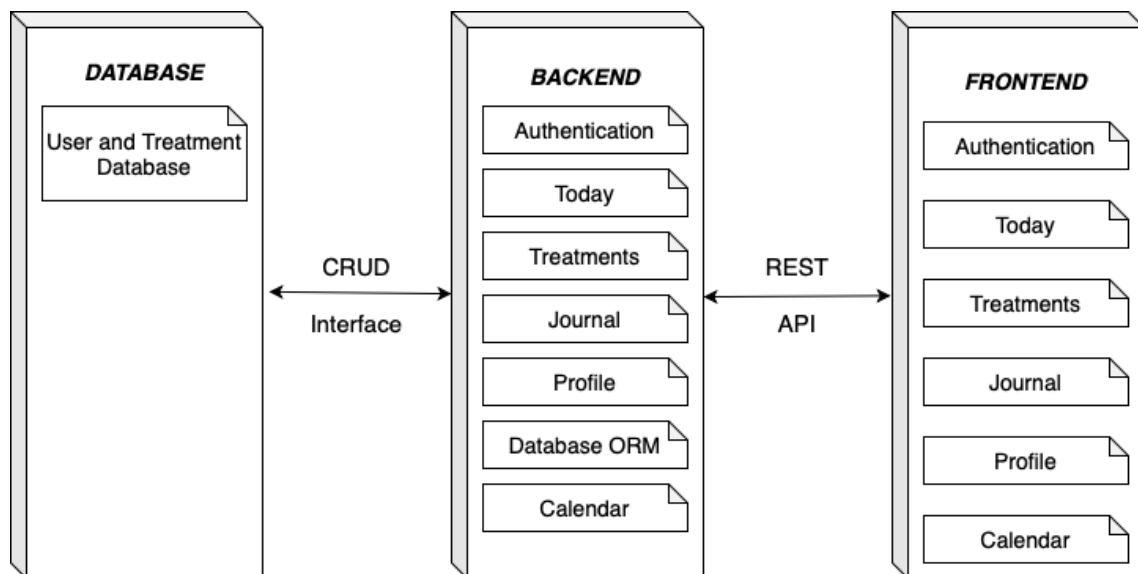


Figure 9: Arhitectura software pentru aplicația Mediminder.

instrumente care ajută la dezvoltarea aplicației, inclusiv la compilarea codului în cod mașină nativ.

În al doilea rând, un cadru care constă într-o bibliotecă de interfață utilizator (UI) bazată pe widget-uri care include elemente personalizabile, cum ar fi butoane, casete de text și glisoare.

În al treilea rând, un motor de randare 2D rapid care desenează widget-urile fără a avea o punte de legătură între cadru și widget-uri, ceea ce duce la o randare și o animație mai eficiente. Un alt beneficiu al utilizării Flutter este că permite dezvoltarea de aplicații atât pentru Android, cât și pentru iOS dintr-o singură bază de cod, respectând în același timp convențiile platformei.

Reprezentarea pentru cele două ecrane ale meniului "Today" este prezentată în figura 10. Utilizatorul poate vizualiza medicamentele pe care trebuie să le ia în ziua respectivă, separate prin culoare și cu o scurtă descriere a orei la care trebuie să ia pastila. În plus, o pastilă care a fost marcată ca fiind luată își va schimba pictograma într-o bifă.

Următorul meniu important pentru utilizator este ecranul "Tratamente", așa cum este afișat în figura 11. Utilizatorul poate vizualiza medicamentele pe care trebuie să le ia în mod regulat, poate adăuga un nou tratament sau poate modifica tratamentul actual. Interfețele au fost dezvoltate cât mai prietenos posibil, având în vedere că vârsta pacienților care suferă de boli cronice și trebuie să urmeze tratamente grele variază de la 20 de ani la 70 de ani. Pastilele pot fi separate prin coduri de culori la alegerea pacientului și există mai multe câmpuri care trebuie completate atunci când se adaugă un nou tratament: cantitatea de dozaj, când trebuie luată o pastilă și alte observații.

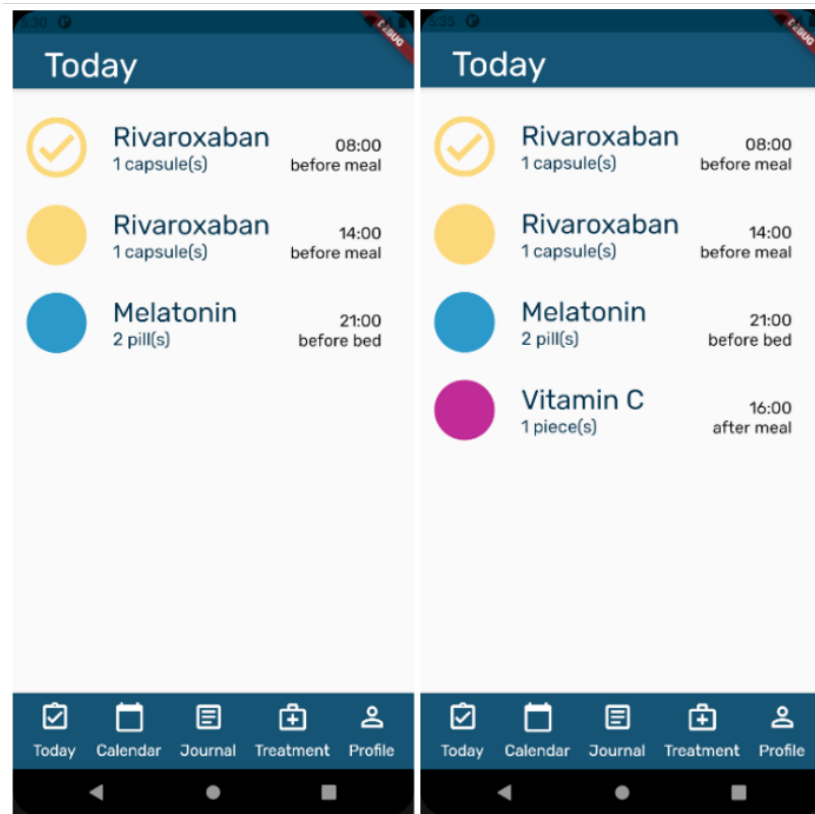


Figure 10: Vizualizări ale utilizatorului pentru ecranul "Astăzi" al aplicației Mediminder

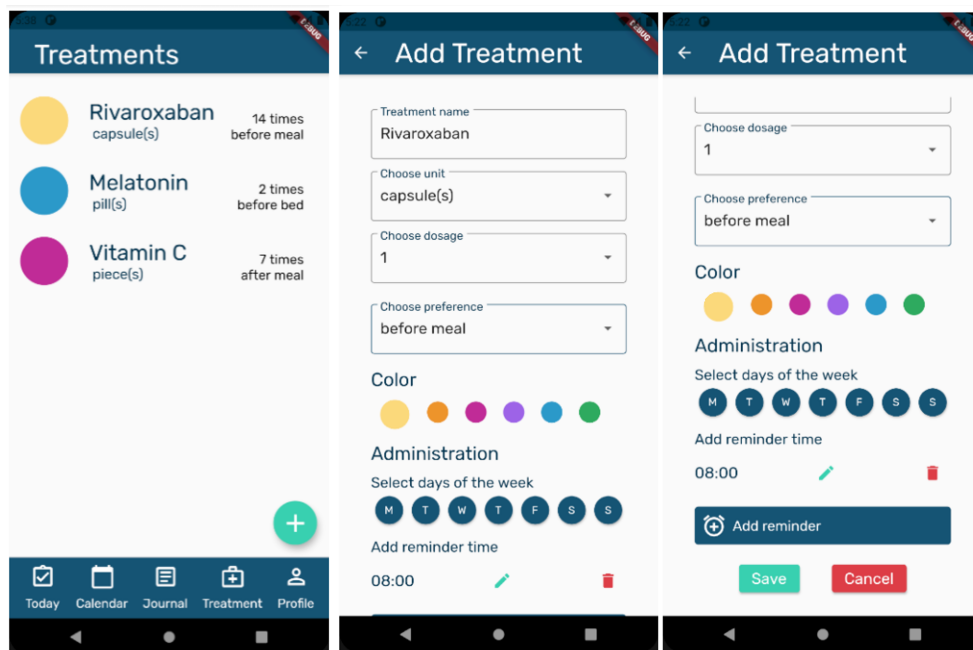


Figure 11: Vizualizări ale utilizatorului pentru ecranul "Tratamente" al aplicației Mediminder.

3.1.3 Implementarea Backend

Backend-ul, sau serverul, este un intermediar între frontend și baza de date, precum și un motor de calcul pentru sarcinile care necesită multe resurse și care ar putea încetini dispozitivul utilizatorului. Datorită flexibilității și performanței sale, backend-ul este scris în limbajul de programare Rust, care este extins de două cadre: Rocket, pentru punctele finale RESTful, și Diesel, un cadru de Mapare Relațională a Obiectelor pentru comunicarea cu baza de date. În cadrul aplicației, utilizatorul are acces la diverse informații și poate efectua o varietate de operații. Prin intermediul informațiilor accesate în timpul unei solicitări, au fost segmentate următoarele acțiuni sau fluxuri de lucru: autentificare, ecranul "Astăzi", ecranul calendarului, ecranul jurnalului, ecranul tratamentelor și ecranul profilului.

Codul backend din Figura 12 este format din două secțiuni majore: rute pentru punctele finale și modele pentru interacțiunea cu baza de date și serializarea și deserializarea datelor punctelor finale. Conectarea fiecărei componente la celelalte pachete sau componente pe care le utilizează pentru a calcula datele este reprezentată de săgeți. Pachetul Routes utilizează Models pentru a prelua și a introduce date în baza de date, precum și două pachete suplimentare: JWT (JSON Web Token) în scopul autentificării și CORS (Cross-Origin Resource Sharing), o măsură de securitate implementată de majoritatea browserelor web pentru a preveni redirecționările rău intenționate.

3.1.4 Testare și Validare

În această secțiune, vom descrie procedura de testare și validare pentru dezvoltarea aplicației noastre. În timpul fazei de testare a proiectului nostru, încercăm să determinăm intuitivitatea navigării aplicației pentru potențialii utilizatori. În prezent, există două versiuni ale aplicației, deoarece am dorit să îmbunătățim accesibilitatea aplicației prin încorporarea feedback-ului utilizatorilor. Prin urmare, faza de testare a dezvoltării constă în două iterații separate de două săptămâni. Cea de-a doua parte a evaluării urmărește să determine ușurința cu care utilizatorii care navighează pentru prima dată în aplicație și dacă aceștia sunt capabili să efectueze un set de acțiuni necesare pentru gestionarea unui tratament. Abordarea pe care am ales-o pentru această provocare a fost aceea de a aduna un număr de utilizatori care nu mai interacționaseră niciodată cu aplicația și de a le cere să îndeplinească o serie de sarcini în cadrul aplicației. Pe parcursul executării fiecărei sarcini, am observat acțiunile lor și zonele de ezitare sau de dificultate. Am măsurat, de asemenea, cât timp le-a luat pentru a finaliza fiecare sarcină.

Mediul utilizat pentru testare constă într-un emulator android rulat pe un computer de birou. Dispozitivul mobil simulat a fost un Pixel 2 cu Android 10. Am invitat potențialii utilizatori la videoconferințe, unde le-am explicat sarcinile pe care trebuiau să le îndeplinească folosind telecomanda de pe emulatorul nostru.

Merită menționat faptul că grupul pe care l-am testat a fost compus în principal din persoane

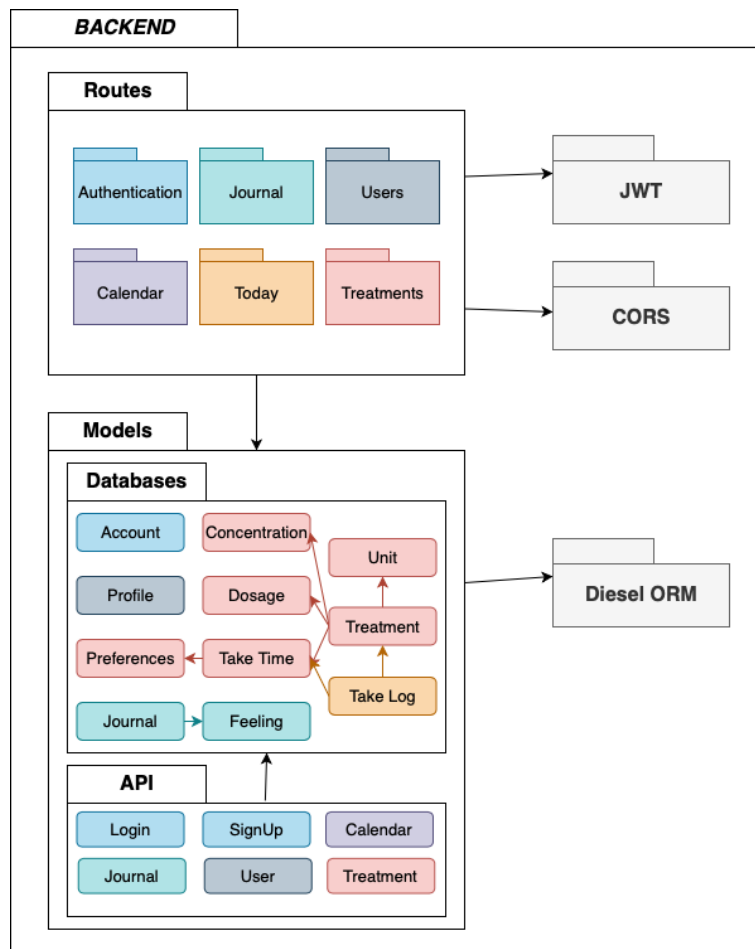


Figure 12: Diagrama pachetului pentru implementarea backend.

cu vârste cuprinse între 40 și 50 de ani. În consecință, ne așteptăm ca valorile de timp pe care le-am măsurat în timpul testării să fie mai mari pentru pacienții mai în vârstă (70+). Cu toate acestea, am reușit să identificăm modele în comportamentul lor și să adunăm informații despre o bună parte din posibilele modificări care ar putea îmbunătăți experiența utilizatorului. Eșantionul a inclus 43 de utilizatori cu vârsta medie de 54 de ani.

Soluția noastră se încadrează în cea de-a doua categorie și constă într-o aplicație mobilă în care utilizatorii pot adăuga tratamente, pot programa memento-uri, pot marca administrările ca fiind "luate" sau "nu luate", pot introduce simptome în jurnalul lor și pot planifica folosind un instrument de tip "calendar". Ceea ce diferențiază Mediminder de alte aplicații este interfața sa simplă și ușor de utilizat, special concepută pentru utilizatorii neexperimentați, interesați nu neapărat de cele mai avansate funcții, ci mai degrabă de accesibilitatea acestora. Am dezvoltat aplicația în două iterații, prima constând într-un MVP și o versiune îmbunătățită pe baza feedback-ului utilizatorilor.

Table 4: Rezultatele testării utilizatorilor pentru aplicația Mediminder

Tasks	Reference Time	Average Time
Creating and account	25 seconds	46 seconds
Adding a treatment with a reminder	70 seconds	81 seconds
Editing a treatment and adding an administration	30 seconds	62 seconds
Finding treatments scheduled for the current day and marking one as taken	7 seconds	25 seconds
Creating a journal entry	10 seconds	44 seconds
Finding administrations for tomorrow	8 seconds	6 seconds
Updating profile details	40 seconds	42 seconds
Logging out of the account	5 seconds	12 seconds

3.2 PADDY - Un Asistent Digital pentru Rețete Medicale și Interacțiuni Medicamentoase

3.2.1 Soluție Propusă

Într-o arhitectură client-server, cunoscută sub numele de arhitectură N-tier sau arhitectură multistrat, sarcinile de afișare, de procesare a aplicațiilor și de gestionare a datelor sunt separate atât fizic, cât și logic una de cealaltă. Un alt aspect important al acestui model de arhitectură este faptul că stratul de deasupra poate accesa resursele din stratul de dedesubt, dar invers este imposibil. Ținând cont de acest lucru, nivelurile pot fi găzduite cu ușurință pe mai multe mașini sau cluster, asigurându-se că serviciile sunt furnizate fără ca resursele să fie partajate. Utilizarea pe scară largă a arhitecturii multistrat este reprezentată de arhitectura cu trei niveluri [64].

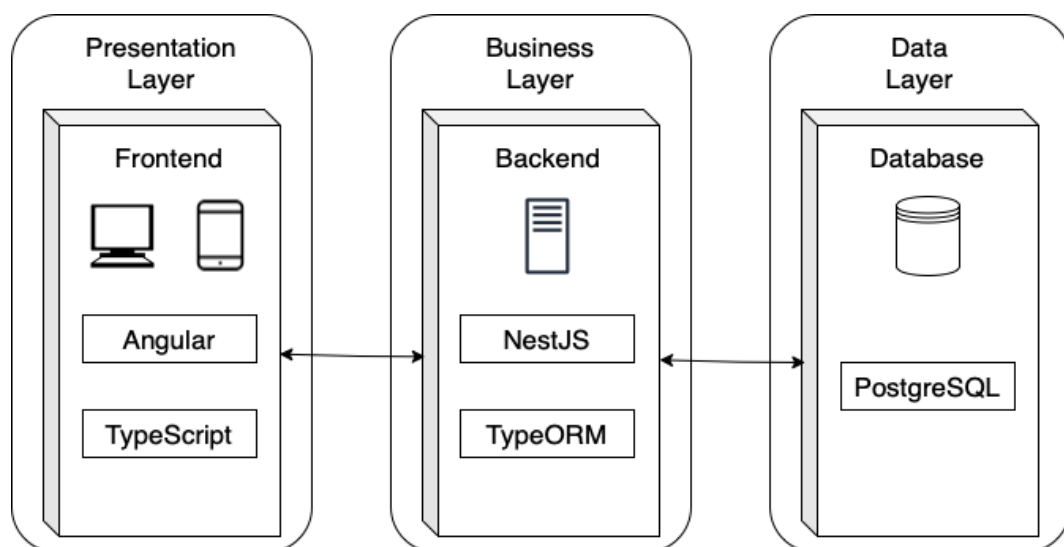


Figure 13: Arhitectura soluției propuse pentru PADDY

Nivelul de prezentare este primul nivel prezent și are responsabilitatea de a afișa informațiile legate de logica de afaceri. Acest nivel poate comunica direct cu stratul de afaceri și afișează rezultatul către utilizator. Nivelul de afaceri este cel de-al doilea nivel și conține logica aplicației. Nivelul de date este ultimul nivel și include mecanismul de persistență a datelor, cum ar fi serverul de baze de date, precum și nivelul de acces la date care trebuie să permită recuperarea datelor.

Cele trei straturi ale arhitecturii vor fi împărțite în trei servere, fiecare dintre ele având propria funcție. Primul server va supraveghea stratul de prezentare, al doilea server va conține logica de afaceri, în timp ce al treilea va fi responsabil pentru stocarea datelor, așa cum se arată în figura 13.

3.2.2 Implementarea Frontend

Proiectarea ecranului principal al platformei PADDY poate fi vizualizată în figura 14. În această secțiune vom descrie pe scurt tehnologiile care au fost utilizate pentru a realiza designul platformei noastre și dezvoltarea front-end-ului.

Pentru a implementa stratul de prezentare, tehnologia utilizată este Angular 2+. Angular este un cadru de aplicații open-source de tip script dezvoltat de echipa Angular de la Google și de persoane fizice pentru aplicații de o singură pagină. Arhitectura cadrului se bazează pe opt blocuri de construcție, care sunt: module, componente, șabloane, metadata, legare de date, directive, servicii și injecție de dependențe.

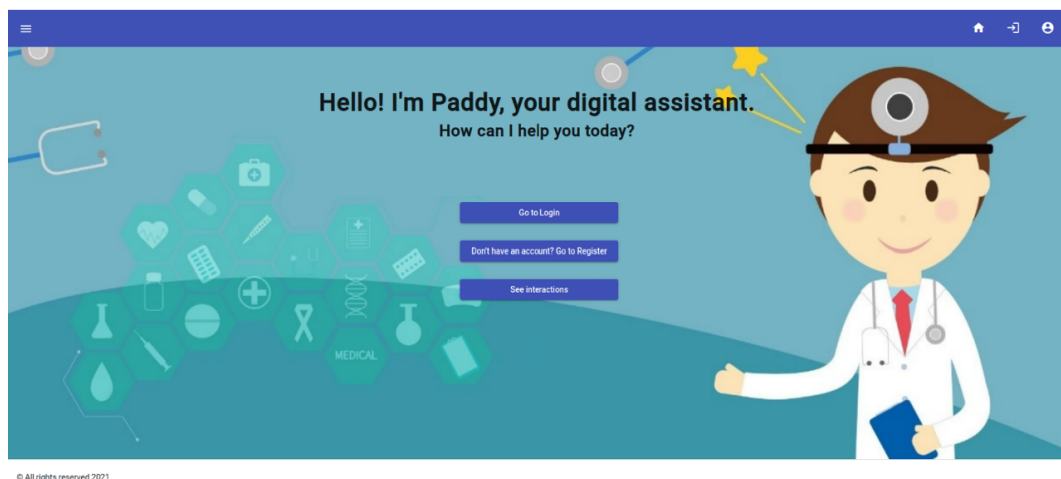


Figure 14: Interfața ecranului principal

În figura 15 se poate observa cum sunt afișate rezultatele unui termen de medicament atunci când este tastat sau căutat. În exemplul prezentat în figura 15, utilizatorul caută termenul "advil". Detaliile privind modul în care sunt găsite și recuperate rezultatele, precum și modul în care este identificată interacțiunea dintre medicamente vor fi explicate în secțiunea Implementare backend.

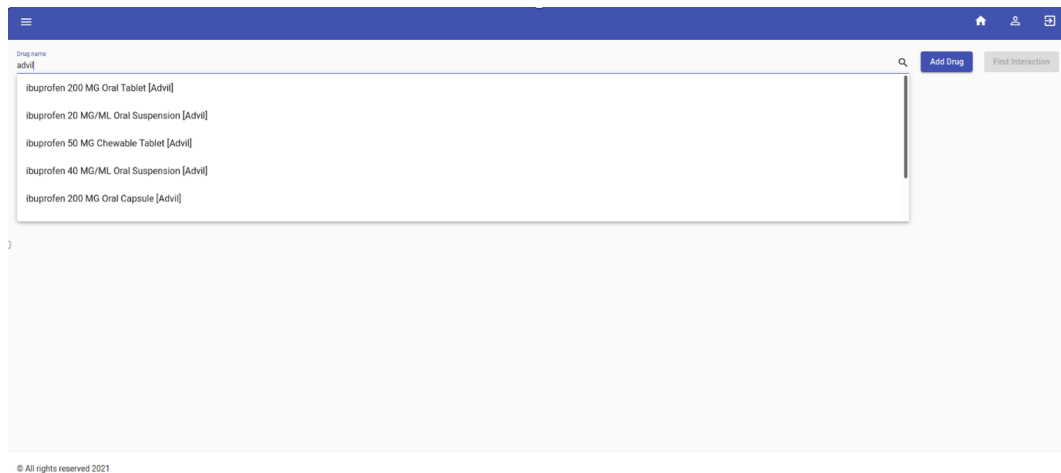


Figure 15: Ecranul care apare și rezultatele obținute la căutarea medicamentului "advil"

Pentru a gestiona mai ușor stilizarea interfețelor utilizator, Angular propune o bibliotecă numită Angular Material. Aceasta ajută la crearea rapidă a unor pagini web sau aplicații plăcute din punct de vedere vizual și intuitive, care pot fi portate și utilizate pe orice dispozitiv. Prin intermediul acestei biblioteci pot fi create următoarele componente: butoane, casete de dialog, autocompletare, formulare, pictograme, meniuri, tabele și multe alte elemente.

3.2.3 Implementare backend

Medication Controller

Controlorul de medicamente supraveghează următoarele operațiuni:

- Crearea unei rețete - oferă posibilitatea unui utilizator de a crea o rețetă.
- Lista de rețete - returnează o listă cu toate rețetele pe care le are un utilizator.
- Modificare prescripție - oferă posibilitatea unui utilizator de a modifica o prescripție existentă
- Sugestie ortografică - ajută un utilizator să găsească un medicament cu un anumit nume
- Partajarea rețetei - permite unui utilizator să partajeze rețeta sa
- Găsește interacțiuni - permite utilizatorului să verifice interacțiunea dintre diferite medicamente

Sugestia ortografică este o funcție menită să ajute utilizatorii în căutarea medicamentelor după nume. Pentru a utiliza resursa, se trimite o cerere HTTP GET la punctul final "/medication/suggestions" cu numele medicamentului ca argument de interogare. Doar garda de autentificare protejează acest endpoint. În cazul în care utilizatorul nu este autentificat, va fi transmis un răspuns HTTP 401 Unauthorized. După ce trece de gardă, numele medicamentului va fi introdus în "MedicationService", care va începe procesul de căutare. RxNav va

utiliza o API terță parte pentru a obține informațiile corespunzătoare [62].

Punctul final al Interaction Checker, "/medication/interactions", poate fi accesat prin trimiterea unei cereri HTTP GET împreună cu un parametru de interogare care conține o listă de șiruri de caractere (nume de medicamente). Pentru a accesa funcționalitatea, utilizatorul trebuie să fie autentificat; în caz contrar, va fi transmis un răspuns HTTP 401 Unauthorized și un mesaj de eroare. În urma unei autentificări reușite, punctul final va furniza întotdeauna un răspuns cu starea HTTP 200 Ok și o listă de interacțiuni (lista poate fi goală). Parametrul de interogare este extras și inserat în "MedicationService".

După obținerea unei liste de nume de medicamente, următorul pas este obținerea unui RXCUI (identificator unic al conceptului RxNorm) pentru fiecare medicament[63]. Se va trimite o cerere către "Get Drug API" pentru fiecare nume de medicament din listă pentru a obține toate RXCUI-urile. Pasul final va fi efectuarea unei alte cereri către API "findInteractionsFromList" pentru a prelua lista de interacțiuni. Utilizatorul va primi un răspuns cu statusul HTTP 200 OK și o listă de interacțiuni după procesarea răspunsului pentru a obține doar interacțiunea.

În figura 16 se poate observa modul în care soluția noastră prezintă interacțiunea dintre cele trei medicamente care au fost selectate: ibuprofen 200mg, aspirină 650mg și clorură de sodiu. Cu ajutorul unui semn de exclamare roșu, utilizatorul este informat că ibuprofenul poate diminua activitățile antiplachetare ale acidului acetilsalicilic (aspirină).

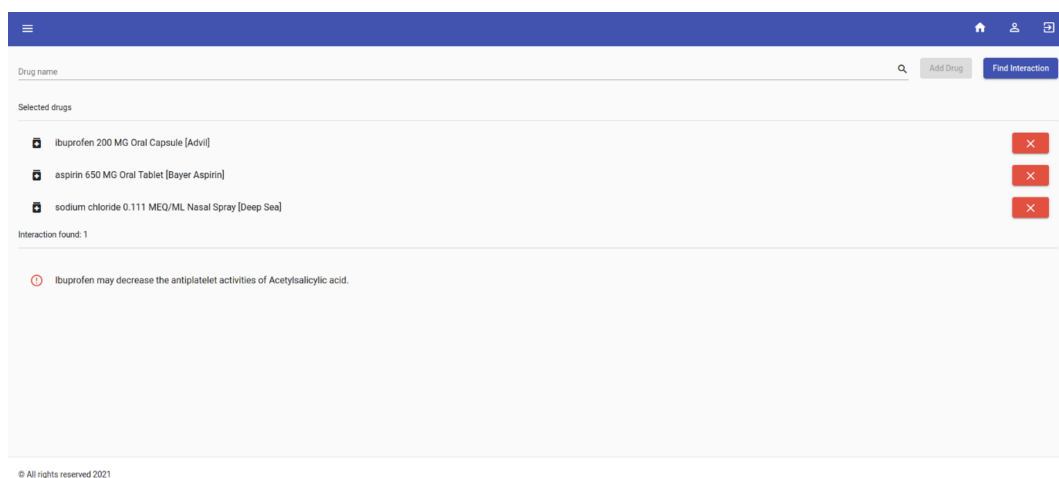


Figure 16: Interacțiuni găsite de PADDY între Ibuprofen, Aspirină și Clorură de sodiu

3.2.4 Testare și Evaluare

Comportamentul serverului sau al bazei de date a aplicației este monitorizat prin intermediul procesului de testare backend. Înainte ca produsul să fie distribuit utilizatorilor finali, acest lucru se face cu intenția de a descoperi comportamente nedefinite și nedorite, cum ar fi blocajul, pierderea de date și corupția. Metoda de validare a fost împărțită în două părți, astfel încât să poată fi dezvoltată o soluție robustă: testarea manuală și testarea utilizatorului.

Testarea manuală a fost realizată cu ajutorul Postman [60]. Fiecare punct final a primit mai multe cereri, atât valide, cât și invalide, pentru a fi siguri că este definit comportamentul aplicației. O solicitare HTTP POST validă cu Postman poate fi văzută în figura 17. Fiecare punct final a fost testat cu mai multe cereri pentru a acoperi toate răspunsurile posibile.

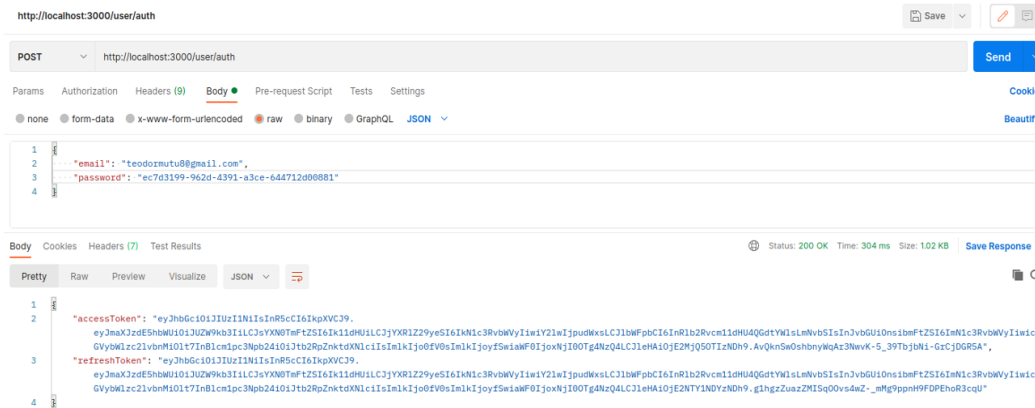


Figure 17: Rezultatele testării cererilor de autentificare Postman

Pentru a testa aplicația, doi medici și 39 de neprofioniști au fost rugați să petreacă cel puțin o săptămână folosind platforma PADDY. În prima fază a testării utilizatorilor, aceștia au fost rugați să efectueze pentru prima dată anumite sarcini, iar în timpul îndeplinirii acestora am observat acțiunile lor și unde și dacă au ezitat sau au întâmpinat dificultăți. De asemenea, am măsurat timpul de care au avut nevoie pentru a finaliza fiecare sarcină.

În tabelul 5 se poate observa că diferența dintre timpul de referință și timpul mediu al utilizatorului pentru fiecare sarcină este redusă, cu excepția sarcinilor complexe mai lungi: crearea unui cont, crearea unei rețete și ștergerea unui cont. Cu toate acestea, timpul mediu de care are nevoie un utilizator pentru a finaliza toate sarcinile enumerate este încă ideal pentru un începător.

Table 5: Rezultatele testării utilizatorilor - Performanța și sincronizarea sarcinilor

Tasks	Time of Reference	Average User Time
Tasks	Time of Reference	Average User Time
Creating an account	26 seconds	45 seconds
Searching for a drug	10 seconds	12 seconds
Selecting and adding three drugs	30 seconds	47 seconds
Checking for interactions	6 seconds	13 seconds
Creating a prescription	92 seconds	110 seconds
Listing a prescription	10 seconds	14 seconds
Sharing a prescription	7 seconds	10 seconds
Modifying a prescription	12 seconds	13 seconds
Deleting an account	25 seconds	62 seconds

4 JURNAL DIGITAL ȘI PLATFORMĂ DOCTOR-PACIENT PENTRU DIABETICI

În acest capitol, ne adâncim în rutina unui pacient cu diabet pentru a înțelege mai bine comportamentul acestuia față de tratament, jurnalul bolii și comunicarea medic-pacient. Observând limitările soluțiilor actuale, propunem o soluție care aduce beneficii în viața unui pacient cu diabet. Am implementat o aplicație pentru ca pacienții cu diabet să își urmărească parametrii critici și să îmbunătățească comunicarea cu medicul lor folosind telemetria prin intermediul aplicației.

4.1 Soluția Propusă

În această secțiune, vom descrie soluția propusă în cadrul proiectului nostru pentru a ajuta pacienții și medicii la monitorizarea diabetului prin utilizarea resurselor digitale ușor accesibile. Proiectul nostru este în principal o aplicație mobilă, astfel încât soluția va fi prezentată din perspectiva ingineriei software.

Acest proiect propune o soluție pentru o aplicație mobilă pe care pacienții diabetici și medicii o pot folosi pentru a monitoriza anumite aspecte ale bolii. Aplicația va facilita sarcina de a înregistra nivelurile de glucoză, tensiune arterială și colesterol ale pacientului, precum și greutatea pacientului și cantitatea de insulină administrată în cazul diabetului pe bază de insulină, permițând în același timp medicului să observe și să răspundă la datele înregistrate de pacient. Soluția noastră este un răspuns la metodele de monitorizare existente în domeniul medical, cum ar fi utilizarea unui caiet specializat sau a foilor de jurnal medical, sau la cele digitale, cum ar fi aplicațiile descrise în secțiunea anterioară. Printre tehnologiile utilizate în dezvoltarea proiectului nostru se numără comunicarea și dezvoltarea de servere, proiectarea bazei de date pentru stocarea valorilor înregistrate de utilizatori, astfel încât acestea să fie ușor accesibile atât pacienților, cât și medicilor, și tehnologiile aplicațiilor mobile pentru a face vizibil mediul orientat către utilizator.

Atât pacienții, cât și medicii au nevoie de informațiile înregistrate pentru referințe viitoare, astfel încât soluția propusă de noi necesită o comunicare constantă cu bazele de date de stocare a datelor pentru recuperarea acestora. Ca urmare, prezentarea arhitecturală a aplicației noastre este afișată în figura 18, în care utilizatorul interacționează doar cu aplicația mobilă, care solicită în continuare date de la bazele de date de găzduire prin intermediul comunicării cu serverul.

Având în vedere faptul că proiectul nostru gestionează informații sensibile ale utilizatorilor,

în special în cazul pacienților, am separat datele stocate pe servere diferite pentru a elimina riscul de încălcare a confidențialității. În consecință, metricile înregistrate de un pacient nu pot fi asociate direct cu individul corespunzător, și nici un pacient nu poate fi asociat direct cu un medic, după cum reiese din faptul că nici unul dintre aceștia nu poate fi asociat direct cu celălalt în figura

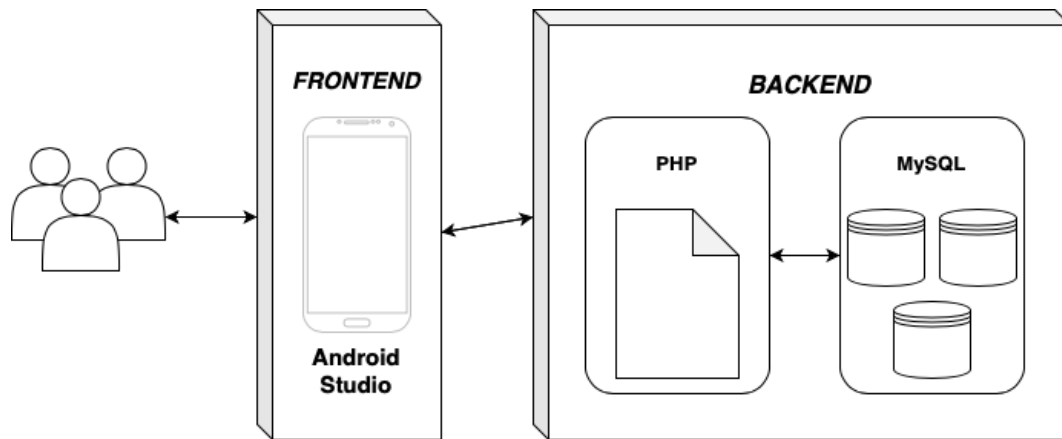


Figure 18: Arhitectura produsului pentru aplicația ORION

IAvând în vedere faptul că proiectul nostru gestionează informații sensibile ale utilizatorilor, în special în cazul pacienților, am separat datele stocate pe servere diferite pentru a elimina riscul de încălcare a confidențialității. În consecință, metricile înregistrate de un pacient nu pot fi asociate direct cu individul corespunzător, și nici un pacient nu poate fi asociat direct cu un medic, după cum reiese din faptul că nici unul dintre aceștia nu poate fi asociat direct cu celălalt în figura 19. Ca atare, informațiile utilizatorului sunt protejate prin anonimat în contextul proiectului nostru, respectând în același timp legislația Comisiei Europene privind protecția datelor în Uniunea Europeană (Regulamentul general privind protecția datelor [236]).

4.2 Implementare

4.2.1 Backend Implementation

În ingineria software, backend-ul unui proiect este denumit în mod obișnuit stratul de accesare a datelor, în timp ce frontend-ul este denumit stratul de prezentare. Prin urmare, partea de backend a proiectului nostru constă în principal în procesarea cererilor primite de la componenta de prezentare și accesarea datelor stocate prin SQL (Structured Query Language), cum ar fi recuperarea/stocarea sau actualizarea înregistrărilor existente în memoria cache.

Ca și compoziție structurală, acest proiect urmează o arhitectură pe trei niveluri, în care straturile sunt următoarele: cea mai înaltă componentă a arhitecturii este stratul de prezentare, care este cel mai apropiat de experiența utilizatorului. Al doilea nivel este secțiunea backend sau stratul de acces la date, care acționează ca o legătură între secțiunea de prezentare

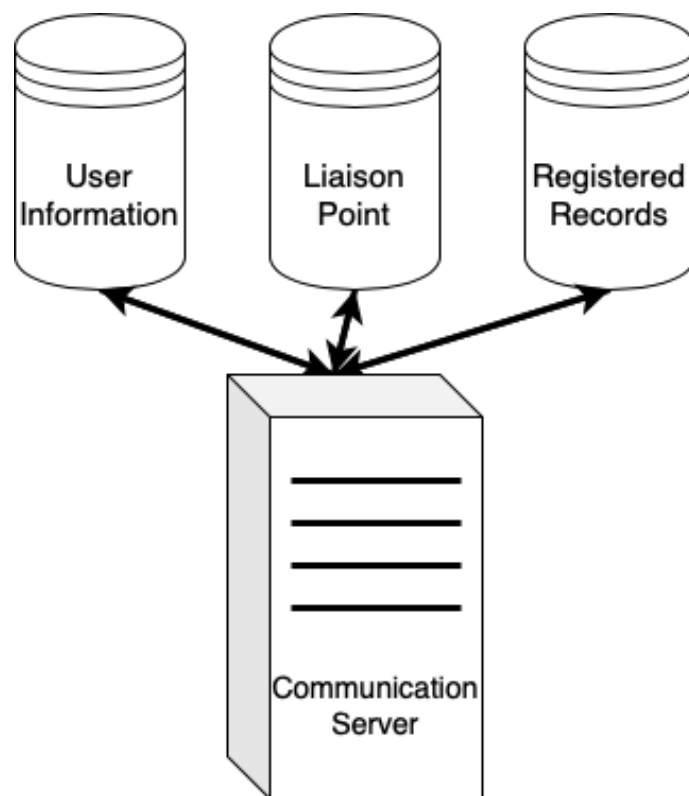


Figure 19: Arhitectura bazei de date pentru aplicația ORION.

către utilizator și secțiunea de stocare. Al treilea nivel, secțiunea de stocare, este cel în care datele sunt stocate permanent. După cum este ilustrat în figura 20, tehnologiile utilizate pentru crearea părții backend sunt PHP și MySQL, în timp ce frontend-ul a fost dezvoltat cu ajutorul Android Studio și Java. Alegerea de a lucra cu aceste tehnologii a venit ca urmare a numeroaselor avantaje ale acestora, pe care le vom detalia în paragrafele următoare.

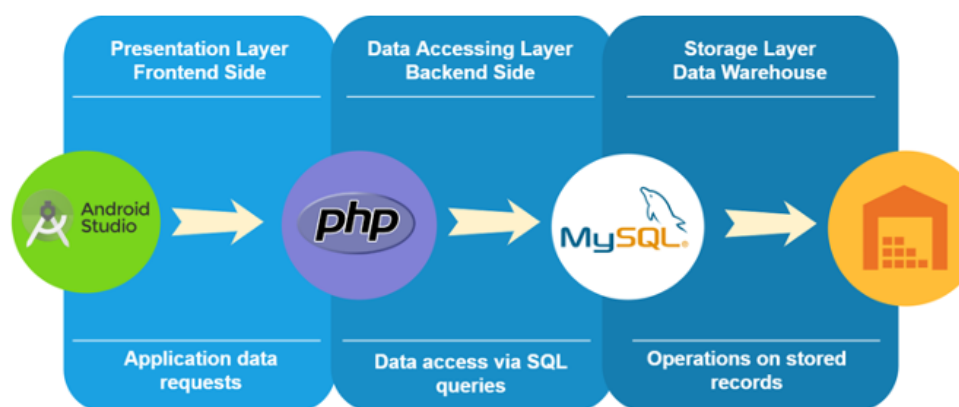


Figure 20: Tehnologiile legate și utilizate pentru aplicația ORION.

PHP este utilizat în acest proiect pentru a gestiona accesările bazei de date ca răspuns la solicitările de date de la nivelul superior. PHP a fost utilizat pentru cele mai frecvente două tipuri de operațiuni de acces la baza de date, și anume recuperarea și stocarea datelor. Componenta de stocare apare în scenariul creării de noi utilizatori, atât pacienți, cât și medici,

atunci când informațiile minime ale acestora sunt stocate în conformitate cu reglementările privind protecția datelor descrise în secțiunea anterioară. În mod similar, atunci când se înregistrează jurnalele pacienților, PHP se ocupă de interogările SQL necesare pentru stocarea datelor.

Cealaltă operațiune primară a bazei de date, preluarea datelor, apare de mai multe ori în aplicația noastră: mai întâi, la logare, baza de date este verificată pentru a se asigura că datele de identificare ale utilizatorului există, iar în caz contrar este afișat un mesaj de eroare. Pentru a realiza acest lucru, se execută o operațiune SQL în backend-ul proiectului, care interoghează baza de date care conține informații despre conturile și acreditările acestora. În funcție de răspuns, utilizatorul fie va fi conectat cu succes la aplicație, fie va fi notificat cu privire la o eroare în ceea ce privește acreditările introduse.

Atunci când un pacient își creează un cont, unul dintre câmpurile obligatorii este codul medicului - un cod dat medicului în timpul înregistrării, care facilitează legătura dintre medic și pacienți. Acest cod poate fi vizualizat în permanență în aplicație ca un utilizator de tip medic. Codul medicului trebuie comunicat pacientului la crearea contului pentru a stabili o conexiune între pacient și medicul său. În plus, codul introdus trebuie validat înainte de a continua înregistrarea, iar în cazul în care apare o eroare, utilizatorul este notificat că codul nu este valid. Procesul de validare a acestui cod implică o interogare SQL backend care interoghează baza de date responsabilă cu stocarea informațiilor legate de medic pentru codul introdus. În cazul în care codul este găsit, pacientul va putea continua înregistrarea; cu toate acestea, dacă codul nu este găsit, utilizatorul va primi un mesaj care indică faptul că valoarea introdusă nu există.

În al treilea rând, atunci când ambele tipuri de utilizatori creează un cont, li se cere să furnizeze o adresă de e-mail și o parolă pentru autentificarea ulterioară în aplicație; această adresă de e-mail este verificată pentru a preveni crearea de conturi multiple cu aceeași adresă de e-mail. Pentru a realiza acest lucru, se execută o interogare SQL pentru a prelua intrările care corespund adresei de e-mail furnizate. La primirea unui rezultat diferit de zero, utilizatorul este notificat că adresa de e-mail este deja utilizată de un alt cont și i se cere să furnizeze o nouă adresă. Atunci când ambele tipuri de utilizatori interacționează cu aplicația noastră și solicită vizualizarea jurnalelor înregistrate, PHP se ocupă de recuperarea datelor. În cazul utilizatorilor de tip pacient, sunt procesate cererile de vizualizare a jurnalelor personale înregistrate anterior. În prezent, pacientul poate fie să vizualizeze toate jurnalele existente, făcând clic pe un buton, fie să filtreze rezultatele în mod specific în funcție de dată, selectând o dată din calendarul de pe pagina principală. În cazul unui utilizator de tip medic, pot fi vizualizate numai înregistrările din jurnalul pacienților săi. La fel ca în cazul utilizatorului pacient, medicul are opțiunea de a vizualiza toate jurnalele nefiltrate sau de a le filtra în funcție de numele pacientului sau de data înregistrării.

4.3 Testare și Rezultate

Deoarece acest proiect a fost creat cu ajutorul medicilor, faza de testare și validare a inclus contribuția acestora, precum și a unor pacienți. Având în vedere că scopul acestui proiect este de a ușura viața atât a pacienților, cât și a medicilor, a părut adecvat să îi includem pe aceștia în testarea sistemului nostru și să luăm în considerare feedback-ul lor.

4.3.1 Perspectiva Medicului

Pentru a valida proiectul nostru din perspectiva cât de intuitivă este aplicația noastră pentru cineva care nu este atât de obișnuit să folosească tehnologia pentru a gestiona diabetul pacientului său, am conceput următorul test: ne-am cronometrat pe noi înșine în timp ce accesăm aplicația în calitate de medic, pentru a compara timpul de care ar avea nevoie un medic real pentru a naviga în aplicație. Testul constă în următoarele etape: crearea unui cont, conectarea, examinarea jurnalelor pacientului, filtrarea jurnalelor pacientului în funcție de criteriile specificate și notificarea pacientului. În tabelul 6, putem compara rezultatele a doi medici care au urmat acest scenariu cu cele ale timpului nostru de referință.

Table 6: Rezultatele testării utilizatorilor pentru aplicația ORION - de către medici

Tasks	Reference Time	Average Time
Creating and account	57 seconds	70 seconds
Logging in	10 seconds	13 seconds
Accessing a patient's logs	24 seconds	40 seconds
Filtering a patient's logs	12 seconds	16 seconds
Notifying a patient	13 seconds	20 seconds

Concluzia acestui test, din perspectiva unui utilizator de tip medic, indică faptul că intuitivitatea presupusă a proiectului nostru corespunde rezultatului real, ceea ce reprezintă un succes uriaș pentru aplicația noastră, având în vedere că unul dintre obiectivele noastre principale a fost acela de a crea cea mai simplă interfață posibilă pentru utilizatorii noștri.

Al doilea scenariu testat și validat de medic a fost acela de a determina cât de mult a îmbunătățit aplicația noastră față de metoda convențională folosită anterior de medici. Deoarece întregul proiect a fost dezvoltat în strânsă colaborare cu un medic, aplicația reprezintă o îmbunătățire imediată în ceea ce privește comunicarea de măsurători între medic și pacient, având în vedere că, de obicei, controalele de rutină sunt programate la săptămâni sau luni distanță. Prin utilizarea acestei aplicații, medicul poate accesa metricile pacientului în orice moment, de îndată ce acestea sunt înregistrate de către pacient, ceea ce reprezintă o îmbunătățire evidentă față de controalele de rutină care nu sunt imediate. Având în vedere că aplicația noastră a fost creată ca răspuns la o nevoie reală a medicilor de a avea acces mai ușor la informațiile privind starea pacienților, acest test este mai mult o formalitate, având în

vedere că rezultatul a fost unul dintre pilonii principali ai proiectului nostru.

4.3.2 Perspectiva Pacientului

Utilizând aceleași proceduri ca în cazul unui utilizator de tip medic, am validat intuitivitatea proiectului nostru pentru un utilizator de tip pacient. Pentru a face o comparație corectă între performanța echipei noastre la acest test și performanța pacientului, am conceput o serie de sarcini a căror unică măsurătoare este timpul necesar pentru a le finaliza. Pentru pacient, sarcinile au inclus crearea unui cont, conectarea la aplicație (la fel ca în cazul medicului, dar pașii pentru crearea unui cont diferă, deoarece pentru pacient sunt necesare mai multe informații), înregistrarea unui jurnal, accesarea jurnalelor înregistrate și filtrarea jurnalelor înregistrate în funcție de dată (utilizând calendarul de pe pagina principală a pacientului). În tabelul 7 alăturat putem compara rezultatele obținute de 27 de pacienți în urma acestui scenariu cu cele ale echipei noastre.

Table 7: Rezultatele testării utilizatorilor pentru aplicația ORION - de către pacienți

Tasks	Reference Time	Average Time
Creating and account	104 seconds	131 seconds
Logging in	10 seconds	16 seconds
Registering a log	40 seconds	60 seconds
Accessing registered logs	5 seconds	11 seconds
Filtering registered logs	6 seconds	15 seconds

În ceea ce privește întrebarea: "Este aplicația noastră mai rapidă de utilizat decât metoda curentă a utilizatorului?", trebuie să ținem cont de faptul că majoritatea pacienților cu diabet țin un jurnal în care își notează măsurătorile zilnice și alte informații pertinente despre boala lor. Dacă jurnalul este formatat, pacienții trebuie doar să își scrie de mână măsurătorile și nu trebuie să își facă griji cu privire la structura jurnalului. Dacă jurnalul este un simplu caiet cu pagini albe, pacienții trebuie să își organizeze și ei informațiile, ceea ce necesită timp suplimentar. Cu toate acestea, rămâne încă problema modului în care datele pacientului sunt împărtășite cu medicul: dacă sunt aduse la consultație în persoană, ocazional, sau dacă sunt împărtășite prin intermediul mediilor existente utilizate de ambele părți. Ambele scenarii de partajare a datelor necesită un pas suplimentar din partea pacientului. Având în vedere punctele furnizate, aplicația noastră este mai rapidă decât metoda actuală în oricare dintre combinațiile posibile din exemplele furnizate, deoarece pacientul nu trebuie să fie preocupat de procesul de partajare, iar procedura de înregistrare a datelor este similară cu completarea unui formular standard, în care trebuie să înregistreze doar valorile și nu etichetele suplimentare pentru care sunt destinate măsurătorile.

5 CONCLUZII

Lucrările și cercetările pentru această teză au început atunci când am primit o invitație de colaborare din partea unui medic ORL (otorinolaringolog). Am participat apoi în cabinetul ei la mai multe ședințe de evaluare și diagnosticare a pacienților cu tulburări de echilibru. Am avut șansa de a observa pentru prima dată o tehnologie de ultimă generație care a fost proiectată de ingineri pentru ingineri, și nu pentru medici și pacienții lor. Am început să ne documentăm mai mult despre limitele soluțiilor actuale și despre bunele practici privind dezvoltarea de dispozitive medicale portabile. Realizând interviuri cu utilizatorii, atât cu medici, cât și cu pacienți, am început să ne întrebăm cum putem reduce decalajul dintre descoperirile tehnologice actuale în materie de dispozitive mobile și servicii cloud și utilizatorii reali, cu accent pe pacienții mai în vârstă și mai puțin familiarizați cu tehnologia. În plus, am observat că pacienții care au păstrat în mod constant legătura cu medicul lor (cel mai adesea prin Whatsapp), au avut o mai bună aderență la tratament și au avut o încredere mai mare în sistemul de sănătate.

În acest capitol, rezumăm călătoria pe care am făcut-o în timp ce ne construim contribuțiile: de la cabinetul medicului la construirea și testarea unor produse medicale relevante pentru experți și pacienții lor. În capitolul 3, explorăm durerile pacienților cu tulburări de mișcare și dezvoltăm dispozitive medicale portabile pentru a-i ajuta să obțină mai mult control în ceea ce privește calitatea vieții lor. În capitolul 4, acordăm prioritate respectării tratamentului și construim o aplicație care poate ajuta pacienții și le poate reaminti medicația, la care se adaugă o platformă de interacțiune între medicamente. În capitolul 5, analizăm nevoile unui pacient cu diabet zaharat și dezvoltăm o aplicație medicală care îi ajută în procesul de contabilizare a metricilor și a evoluției bolii lor. În plus, medicul poate vizualiza jurnalul pacientului cu diabet și îl poate alerta cu ușurință atunci când este timpul să stabilească o programare. Concluziile pentru aceste contribuții sunt descrise în secțiunile următoare.

5.1 Contribuții

Wearable Devices for Monitoring Movement Disorders and Diagnosing Balance Disorders

- Am realizat interviuri cu utilizatorii și studii observaționale cu experți (neurologi și ORL-iști) și pacienți pentru a valida nevoile comune și separate pe care le au aceștia în ceea ce privește monitorizarea la domiciliu, gestionarea medicamentelor și respectarea tratamentului.
- Am dezvoltat o metodologie de proiectare a dispozitivelor medicale portabile ușor de utilizat și prietenoase cu medicul și pacientul.

- Am implementat o soluție compusă dintr-un dispozitiv portabil pe spatele utilizatorului și o aplicație (ENTy) care colectează, procesează și afișează datele colectate de la dispozitiv pentru diagnosticarea și evaluarea pacienților care suferă de tulburări de echilibru, cum ar fi vertijul [8], [7].
- Construim dispozitivul portabil postural cu un microprocesor și o unitate de măsurare inerțială (IMU) pentru a achiziționa date despre echilibrul și postura pacientului.
- Împreună cu doi medici ORL-iști, am dezvoltat o metodologie pentru testarea ENTy pe 42 de pacienți și am comparat datele de ieșire, rezultatele finale și diagnosticele pentru a determina modul în care acestea diferă de Pro Balance Master, de sistemul bazat pe Polaroid și de măsurătorile empirice ale medicului. Diagnosticele și concluziile finale au fost ambele identice.
- Am observat că echilibrul, postura și mersul deficitar sunt simptome ale unui spectru mult mai mare de tulburări de mișcare, așa că am efectuat o cercetare de piață și am realizat interviuri cu medici și pacienți, unde am observat lipsa unor sisteme de măsurare digitală și obiectivă pentru pacienții cu tulburări de mișcare.
- Utilizând metodologia de dezvoltare a dispozitivului pe care am dezvoltat-o anterior, am implementat o soluție medicală (IRIS) pentru diagnosticarea și monitorizarea persoanelor cu tulburări de mișcare (de exemplu, boala Parkinson) luând în considerare specificațiile validate în cercetările efectuate: cost redus, greutate redusă, flexibilitate, date digitale de ieșire, istoricul pacientului, evoluția tratamentului, utilizarea medicală și utilizarea pacientului [2].
- Am îmbunătățit dispozitivele ENTy folosind senzori mai noi și mai mici și încărcare wireless pentru a construi un ceas inteligent și un inel inteligent pentru evaluarea tremorului mâinilor și al degetelor (frecvență și amplitudine) și un dispozitiv portabil pentru spate pentru colectarea de date pentru monitorizarea echilibrului, a posturii și a mersului.
- Prin utilizarea metodologiei de testare am realizat un contrast între IRIS și alte soluții similare (sisteme de sănătate).

Medication Management and Reminders including Drug-to-Drug Interactions

- Am realizat un studiu de piață cu experți (medici) și utilizatori (pacienți) pentru a valida necesitatea unei soluții de urmărire a aderenței la tratament, folosind interacțiunile dintre medicamente.
- Am realizat un studiu de piață cu experți (medici) și utilizatori (pacienți) pentru a valida necesitatea unei soluții de urmărire a aderenței la tratament, folosind interacțiunile dintre medicamente.
- Am realizat un studiu de piață cu experți (medici) și utilizatori (pacienți) pentru a valida necesitatea unei soluții de urmărire a aderenței la tratament, folosind interacțiunile dintre medicamente.
- Am implementat o aplicație mobilă în care utilizatorii pot adăuga tratamente, pot programa memento-uri, pot marca administrările ca fiind "luate" sau "ne luate", pot introduce simptome în jurnalul lor și pot planifica cu ajutorul unui instrument "calendar"

[3].

- Am testat aplicația noastră de reamintire a medicamentelor cu un grup de 18 utilizatori timp de două săptămâni și am validat faptul că designul nostru intuitiv de interacțiune îi ajută pe utilizatorii finali să realizeze obiectivele lor de a lua tratamentul la momentul potrivit și de a construi un jurnal al parcursului lor medicamentos
- Am dezvoltat o platformă medicală în care utilizatorii pot fi avertizați cu privire la interacțiunile potențial dăunătoare ale medicamentelor, oferind pacientului un depozit de medicamente ușor accesibil și o mai bună înțelegere a interacțiunilor dintre medicamentele furnizate [1].
- Am conceput aplicația atât pentru pacienți, cât și pentru medici, pentru a accesa cu ușurință istoricul medicamentelor unui pacient, pentru a actualiza rețeta medicală curentă și pentru a verifica interacțiunile dintre diferite medicamente. Utilizatorii aplicației pot scrie și distribui rețete, pe lângă faptul că pot descoperi interacțiunile dintre medicamente.

Digital Journal and Doctor-Patient Platform for Diabetics

- Am realizat interviuri cu doi diabetologi și nouă pacienți care suferă de diabet și am identificat că principalele soluții de monitorizare și consemnare în jurnal a aderenței la tratament, a greutateii, a glicemiei, a tensiunii arteriale, a nivelului de colesterol nu sunt fiabile și nu asigură o comunicare continuă între pacient și medicul său.
- Am implementat ORION, o aplicație pentru pacienții cu diabet zaharat, pentru a urmări parametrii lor critici și pentru a îmbunătăți comunicarea cu medicul [4].
- Am testat aplicația noastră de monitorizare a diabetului cu doi medici și pacienții lor și am descoperit că cea mai apreciată caracteristică a fost posibilitatea ca medicul să poată vizualiza de la distanță jurnalul pacientului. Aceasta a oferit posibilitatea de a verifica starea pacientului fără a fi nevoie de o consultație față în față, ceea ce reprezenta o problemă nou descoperită în starea de pandemie.

5.2 Lista de Publicații

5.2.1 Jurnale

Oprea, F., Costinescu, T., Mutu, T., Rosner, D.(2022). PADDY - A Digital Assistant for Medical Prescriptions, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 84, Iss. 4, 2022, ISSN 2286-3540

Accepted for Publication

Oprea, F., Pătru, C., Rosner, D., Alexandrescu, C., Radovici, A.(2023). ENTy - A wearable Device for Monitoring Movement Disorders, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 85, Iss. 1, 2023, ISSN 2286-3540

5.2.2 Conferințe

Oprea, F., Rosner, D., Popescu, F., Scrab, A.(2021) Mediminder – Medication Management and Reminder Application, 20th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research

Oprea, F., Rughiniș, R., Sevastre, A., Antohi, A.(2021) ORION – Diabetes Management Platform for Patients, 20th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research

Radovici, A., Culic, I., Rosner, D., **Oprea, F.**(2020) A Model for the Remote Deployment, Update, and Safe Recovery for Commercial Sensor-Based IoT Systems, Sensors

Oprea, F., Velciu, H., Seritan, A., Olteanu, L.(2019) Voice Based Dating Application, 19th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research

Georgescu, M., Rosner, D., Alexandrescu, C., **Oprea, F.**, Osman, A.(2019) ENTy—A ROMANIAN SYSTEM FOR THE OBJECTIVE EVALUATION OF BALANCE IN HUMANS, ICPEK Physical Education, Sport and Kinetotherapy Journal

Rosner, D., Georgescu, M., **Oprea, F.**, Matesica, I., Alexandrescu, C., Vasile, S.(2016) ENTy—Automated diagnostic and assessment system for equilibrium testing, 15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research

BIBLIOGRAPHY

- [1] Oprea, F., Costinescu, T., Mutu, T., Rosner, D., 2022. PADDY - A Digital Assistant for Medical Prescriptions. U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 84, Iss. 4, 2022, ISSN 2286-3540
- [2] Oprea, F., Pătru, C., Rosner, D., Alexandrescu, C., Radovici, A., 2023. ENTy - A wearable Device for Monitoring Movement Disorders. U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 85, Iss. 1, 2023, ISSN 2286-3540
- [3] Oprea, F., Rosner, D., Popescu, F., Scrab, A., 2021. Mediminder – Medication Management and Reminder Application. 20th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research.
- [4] Oprea, F., Rughiniş, R., Sevastre, A., Antohi, A., 2021. ORION – Diabetes Management Platform for Patients. 20th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research.
- [5] Radovici, A., Culic, I., Rosner, D., Oprea, F., 2020. A Model for the Remote Deployment, Update, and Safe Recovery for Commercial Sensor-Based IoT Systems. Sensors.
- [6] Oprea, F., Velciu, H., Seritan, A., Olteanu, L., 2019. Voice Based Dating Application. 19th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research.
- [7] Georgescu, M., Rosner, D., Alexandrescu, C., Oprea, F., Osman, A., 2019. ENTy—A ROMANIAN SYSTEM FOR THE OBJECTIVE EVALUATION OF BALANCE IN HUMANS. ICPEsk Physical Education, Sport and Kinetotherapy Journal.
- [8] Rosner, D., Georgescu, M., Oprea, F., Matesica, I., Alexandrescu, C., Vasile, S., 2016. ENTy—Automated diagnostic and assessment system for equilibrium testing. 15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research.
- [9] Fiordelli, M.; Diviani, N.; Schulz, P.J., 2013. Mapping mHealth research: a decade of evolution. Journal of medical Internet research.
- [10] Saniotis, A.; Henneberg, M.; Sawalma, A.R., 2018. Integration of Nanobots Into Neural Circuits As a Future Therapy for Treating Neurodegenerative Disorders. Frontiers in neuroscience.
- [11] Yap, Y.Y.; Tan, S.H.; Choon, S.W., 2022. Elderly's intention to use technologies: A systematic literature review. Heliyon, 8.
- [12] World Health Organization online: <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ageing-and-health> (accessed on 26 October 2022).

- [13] Ekeland, A.G.; Bowes, A.; Flottorp, S., 2010. Effectiveness of telemedicine: A systematic review of reviews. *International Journal of Medical Informatics*, 79, 736–711.
- [14] Hung, C.W.; Chen, Y.C.; Hsieh, W.L.; Chiou, S. H.; Kao, C.L., 2010. Ageing and neurodegenerative diseases. *Ageing Research Reviews*, 9, S36–S46.
- [15] Cavanna, A.E., 2018 *Classification of Movement Disorders. Motion and Emotion: The Neuropsychiatry of Movement Disorders and Epilepsy*. Springer International Publishing: Cham, pp. 77–81.
- [16] Lamptey, R.; Chaulagain, B.; Trivedi, R.; Gothwal, A.; Layek, B.; Singh, J., 2022. A Review of the Common Neurodegenerative Disorders: Current Therapeutic Approaches and the Potential Role of Nanotherapeutics. *International journal of molecular sciences*, 23.
- [17] Gómez-Río, M.; Caballero, M.M.; Górriz Sáez, J.M.; Mínguez-Castellanos, A., 2016. Diagnosis of Neurodegenerative Diseases: The Clinical Approach. *Current Alzheimer research*, 13, 496–474.
- [18] Khasnis, A.; Gokula, R.M., 2003. Romberg's test. *J Postgrad Med*, 49, 169–172.
- [19] Mahadi, S.; Van de Heyning, P.; De Hertogh, W.; Van Rompaey, V.; Vereeck, L., 2020. Clinical Balance Testing to Screen for Patients With Vestibular Disorders: A Retrospective Case-control Study. *Otology & Neurotology*.
- [20] Hickey, S.; Ford, G.; Buckley, J.; O'connor, A., 1990. Unterberger stepping test: A useful indicator of peripheral vestibular dysfunction? *The Journal of Laryngology & Otology*, 104, 599–602.
- [21] di Biase, L.; Di Santo, A.; Caminiti, M.L.; De Liso, A.; Shah, S.A.; Ricci, L.; Di Lazzaro, V., 2020. Gait Analysis in Parkinson's Disease: An Overview of the Most Accurate Markers for Diagnosis and Symptoms Monitoring. *Sensors*, 20, 3529.
- [22] O'Suilleabhain, P. E.; Matsumoto, J. Y., 1998. Time-frequency analysis of tremors. *Brain : a journal of neurology*, 121 Pt 11.
- [23] Bazgir, O.; Habibi, S.; Palma, L.; Pierleoni, P.; Nafees, S., 2018. A Classification System for Assessment and Home Monitoring of Tremor in Patients with Parkinson's Disease. *Journal of medical signals and sensors*.
- [24] Parkinson's UK. Available online: <https://www.parkinsons.org.uk/professionals/resources/unified-parkinsons-disease-rating-scale-updrs> (accessed on 26 October 2022).
- [25] Patel, M.S.; Asch, D.A.; Volpp, K.G., 2015. Wearable devices as facilitators, not drivers, of health behavior change. *JAMA*.

- [26] Sogi, N.R.; Chatterjee, P.; Nethra, U.; Suma, V., 2018. SMARISA: A Raspberry Pi Based Smart Ring for Women Safety Using IoT. 2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA).
- [27] Knudson, M.; Thomsen, T.H.; Kjaer, T.W., 2020. Comparing Objective and Subjective Measures of Parkinson's Disease Using the Parkinson's KinetiGraph. *Frontiers in neurology*.
- [28] Good Design Australia Available online: <https://good-design.org/projects/parkinsons-kinetigraph-system-pkg/> (accessed on 26 October 2022).
- [29] Pradhan, S.; Kelly, V.E., 2019. Quantifying physical activity in early Parkinson disease using a commercial activity monitor. *Parkinsonism & Related Disorders*, 66, 171–175.
- [30] Kantarak, E.; Rucman, S.; Kumpika, T., 2020. Fabrication, Design and Application of Stretchable Strain Sensors for Tremor Detection in Parkinson Patient. *Appl Compos Mater* 27.
- [31] Sama, A.J.; Hillstrom, H.; Daluiski, A.; Wolff, A., 2022. Reliability and agreement between two wearable inertial sensor devices for measurement of arm activity during walking and running gait. *Journal of Hand Therapy*, 35, 151–154.
- [32] Jung, S.; Michaud, M.; Oudre, L.; Dorveaux, E.; Gorintin, L.; Vayatis, N.; Ricard, D., 2020. The Use of Inertial Measurement Units for the Study of Free Living Environment Activity Assessment: A Literature Review, *Sensors*, 20, 5625.
- [33] Raytac online: https://www.raytac.com/product/ins.php?index_id=64 (accessed on 26 October 2022).
- [34] Bosch Sensortech online: <https://www.bosch-sensortec.com/products/smart-sensors/bno055/> (accessed on 26 October 2022).
- [35] Mouser online: https://ro.mouser.com/datasheet/2/272/Hypercell_HPL402323-2C-3.7V-190mAh-_datasheet-1272943.pdf (accessed on 26 October 2022).
- [36] Texas Instruments online: <https://www.ti.com/product/BQ51050B#design-development> (accessed on 26 October 2022).
- [37] Mouser online: <https://ro.mouser.com/datasheet/2/609/29421f-2954493.pdf> (accessed on 26 October 2022).
- [38] Johan, V.; Weigi, G.; Stephen, C.; Dean, I.; James, W., 2014. *Pro JavaFX 8: A Definitive Guide to Building Desktop, Mobile, and Embedded Java Clients*.
- [39] Joo, M.-I.; Aich, S.; Kim, H.-C., 2021. Development of a System for Storing and Executing Bio-Signal Analysis Algorithms Developed in Different Languages. *Healthcare*, 9, 1016.

- [40] Oracle online: <https://docs.oracle.com/javaee/6/firstcup/doc/gkhoy.html> (accessed on 26 October 2022).
- [41] Iwasaki, S.; Yamasoba, T., 2014. Dizziness and Imbalance in the Elderly: Age-related Decline in the Vestibular System, *Aging and disease*, 6, 38–47.
- [42] Pringsheim, T.; Jette, N.; Frolkis, A.; Steeves, T.D., 2014. The prevalence of Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 29, 1583-1590.
- [43] Dunbar-Jacob, J.; Erlen, J.A.; Schlenk, E.A., 2000. Adherence in chronic disease. *Annual Review of Nursing Research*, 18.
- [44] Jones, C.M; Mack, K.A; Paulozzi, L.J., 2013. Pharmaceutical Overdose Deaths, United States, 2010. *Journal of Medical Association*, 309, 657-659.
- [45] CIO Applications, "Top 25 Tech Solutions for Healthcare" [Online] Available: <https://healthcare.cioapplications.com/vendors/top-tech-solutions-for-healthcare.html> (accessed on 26 October 2022).
- [46] Liu, J.; Liu, Z.; Ding, H., 2013. Adherence to treatment and influencing factors in a sample of Chinese epilepsy patients. *Epileptic Disord*, 15, 289-294.
- [47] Ferrari, C.M; Cardoso de Sousa, R.M.; Castro, L., 2013. factors associated with treatment non-adherence in patients with epilepsy in Brazil. *Seizure*, 22, 384-389.
- [48] Iyengar, R., 2013. Complex diseases require complex therapies. *EMBO Rep.*, 14, 1039-1042.
- [49] Salzman, M., 2021. Durable HIV Remission in London Patient, the Second Person Cured of HIV, *TheBodyPro*, 14. Available: <https://www.thebodypro.com/article/durable-hiv-remission-london-patient-second-person-cured-hiv> (accessed on 26 October 2022).
- [50] Immunotherapy to Treat Cancer, [cancer.gov](https://www.cancer.gov), 2019, 2. Available: <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/immunotherapy> (accessed on 26 October 2022).
- [51] Zerili N., Cicero T., Rosenberg L., 2007. Patients' Use and Perception of Medication Information Leaflets. *The Annals of pharmacotherapy*, 41, 777-82.
- [52] Siriporn Burapadaja, B.J., 2013. Determinants of Consumer's Drug Leaflet Reading. *The CMU. Journal*, 2, 777-82.
- [53] Institute of Medicine, 2007, *Preventing Medication Errors*, The National Academies Press, Washington.

- [54] Chen, L.; Chu, C.; Zhang, Y.H.; Zheng, M.; Zhu, L.; Kong, X.; Huang, T., 2017. Identification of Drug-Drug Interactions Using Chemical Interactions. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 526-534.
- [55] Schwappach, D.L.; Mülders, V.; Simic, D.; Thürmann, P.A., 2011. Is less more? Patients' preferences for drug information leaflets. *Pharmacoepidemiology And Drug Safety*, 20.
- [56] Noguchi, Y.; Tachi, T.; Teramachi, T., 2019. Review of Statistical Methodologies for Detecting Drug-Drug Interactions Using Spontaneous Reporting Systems. *Frontiers in Pharmacology*, 10.
- [57] NN Group, Available online: <https://www.nngroup.com/articles/design-thinking> (accessed on 26 October 2022).
- [58] Nomenclatorul medicamentelor de uz uman, Agenția Națională a Medicamentului și a Dispozitivelor Medicale din România, 2022 Available online: <https://www.anm.ro/medicamente-de-uz-uman/nomenclatorul-medicamentelor-de-uz-uman/> (accessed on 26 October 2022).
- [59] Lista Medicamentelor, Mediatly, 2022 Available online: <https://mediately.co/ro/drugs> (accessed on 26 October 2022).
- [60] Postman Inc., 2022 Available online: <https://www.postman.com/> (accessed on 26 October 2022).
- [61] Drug Interactions Checker, 2022 Available online: https://www.drugs.com/drug_interactions.html. (accessed on 26 October 2022).
- [62] APIs Available for Drugs, 2022 Available online: <https://rxnav.nlm.nih.gov/APIsOverview.html> (accessed on 26 October 2022).
- [63] RxNorm, 2022 Available online: <https://www.nlm.nih.gov/research/umls/rxnorm/overvGeiew.html>. (accessed on 26 October 2022).
- [64] Sun, L.; Jiang, X.; Ren, H.; Guo, Y., 2020. Edge-Cloud Computing and Artificial Intelligence. *Internet of Medical Things: Architecture, Technology and Application*, IEEE Access, 8, 101079-101092.
- [65] Bohr, A. and Memarzadeh, K., 2020. The rise of artificial intelligence in healthcare applications. In *Artificial Intelligence in healthcare* (pp. 25-60). Academic Press.
- [66] Hilty, D.M., Randhawa, K., Maheu, M.M., McKean, A.J., Pantera, R., Mishkind, M.C. and Rizzo, A., 2020. A review of telepresence, virtual reality, and augmented reality applied to clinical care. *Journal of Technology in Behavioral Science*, 5(2), pp.178-205.

- [67] Pramanik, P.K.D., Upadhyaya, B.K., Pal, S. and Pal, T., 2019. Internet of things, smart sensors, and pervasive systems: Enabling connected and pervasive healthcare. In *Healthcare data analytics and management* (pp. 1-58). Academic Press.
- [68] Hasselgren, A., Krlevska, K., Gligoroski, D., Pedersen, S.A. and Faxvaag, A., 2020. Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, 134, p.104040.
- [69] Kraus, S., Schiavone, F., Pluzhnikova, A. and Invernizzi, A.C., 2021. Digital transformation in healthcare: Analyzing the current state-of-research. *Journal of Business Research*, 123, pp.557-567.
- [70] De Brouwer, W., Patel, C.J., Manrai, A.K., Rodriguez-Chavez, I.R. and Shah, N.R., 2021. Empowering clinical research in a decentralized world. *NPJ Digital Medicine*, 4(1), pp.1-5.
- [71] Muhammed, T., Mehmood, R., Albeshri, A. and Katib, I., 2018. UbeHealth: A personalized ubiquitous cloud and edge-enabled networked healthcare system for smart cities. *IEEE Access*, 6, pp.32258-32285.
- [72] Taimoor, N. and Rehman, S., 2021. Reliable and Resilient AI and IoT-Based Personalised Healthcare Services: A Survey. *IEEE Access*, 10, pp.535-563.
- [73] Kamei, T., Kanamori, T., Yamamoto, Y. and Edirippulige, S., 2022. The use of wearable devices in chronic disease management to enhance adherence and improve telehealth outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 28(5), pp.342-359.
- [74] VandeWeerd, C., Yalcin, A., Aden-Buie, G., Wang, Y., Roberts, M., Mahser, N., Fnu, C. and Fabiano, D., 2020. HomeSense: Design of an ambient home health and wellness monitoring platform for older adults. *Health and Technology*, 10(5), pp.1291-1309.
- [75] Karatas, M., Eriskin, L., Deveci, M., Pamucar, D. and Garg, H., 2022. Big Data for Healthcare Industry 4.0: Applications, challenges and future perspectives. *Expert Systems with Applications*, p.116912.
- [76] Sahal, R., Alsamhi, S.H. and Brown, K.N., 2022. Personal digital twin: a close look into the present and a step towards the future of personalised healthcare industry. *Sensors*, 22(15), p.5918.
- [77] Wagner, J., Mazurek, P. and Morawski, R.Z., 2022. Introduction to Healthcare-Oriented Monitoring of Persons. In *Non-invasive Monitoring of Elderly Persons* (pp. 1-39). Springer, Cham.
- [78] Stephanidis, C., Antona, M. and Ntoa, S., 2021. Human factors in ambient intelligence environments. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, pp.1058-1084.

- [79] Hajar, M.S., Al-Kadri, M.O. and Kalutarage, H.K., 2021. A survey on wireless body area networks: Architecture, security challenges and research opportunities. *Computers & Security*, 104, p.102211.
- [80] Augusto, J.C., 2022. Contexts and context-awareness revisited from an intelligent environments perspective. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), p.2008644.
- [81] Statistics — Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00010/default/table?lang=> (Accessed: 09/12/2022)
- [82] Projects Archive - AAL Programme, Available at: <http://www.aal-europe.eu/projects/> (Accessed: 09/12/2022)
- [83] Our Work — AGE Platform, Available at: <https://www.age-platform.eu/our-work/> (Accessed: 09/12/2022)
- [84] Marinescu, I.A., Bajenaru, L. and Dobre, C., 2018, October. Conceptual approaches in quality of life assessment for the elderly. In 2018 IEEE 16th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC) (pp. 111-116). IEEE.
- [85] Iancu, I. and Iancu, B., 2020. Designing mobile technology for elderly. A theoretical overview. *Technological Forecasting and Social Change*, 155, p.119977.
- [86] Hathaliya, J.J. and Tanwar, S., 2020. An exhaustive survey on security and privacy issues in Healthcare 4.0. *Computer Communications*, 153, pp.311-335.
- [87] Musa, N., Gital, A.Y.U., Aljojo, N., Chiroma, H., Adewole, K.S., Mojeed, H.A., Faruk, N., Abdulkarim, A., Emmanuel, I., Folawiyo, Y.Y. and Ogunmodede, J.A., 2022. A systematic review and Meta-data analysis on the applications of Deep Learning in Electrocardiogram. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, pp.1-74.
- [88] Xia, Y. and Xie, Y., 2019. A novel wearable electrocardiogram classification system using convolutional neural networks and active learning. *IEEE Access*, 7, pp.7989-8001.
- [89] Hadjem, M., Salem, O. and Naït-Abdesselam, F., 2014, October. An ECG monitoring system for prediction of cardiac anomalies using WBAN. In 2014 IEEE 16th International conference on e-Health networking, Applications and Services (Healthcom) (pp. 441-446). IEEE.
- [90] Xia, Y., Zhang, H., Xu, L., Gao, Z., Zhang, H., Liu, H. and Li, S., 2018. An automatic cardiac arrhythmia classification system with wearable electrocardiogram. *IEEE Access*, 6, pp.16529-16538.
- [91] Xu, X., Luo, M., He, P., Guo, X. and Yang, J., 2019. Screen printed graphene electrodes on textile for wearable electrocardiogram monitoring. *Applied Physics A*, 125(10), pp.1-7.

- [92] Nemati, E., Deen, M.J. and Mondal, T., 2012. A wireless wearable ECG sensor for long-term applications. *IEEE Communications Magazine*, 50(1), pp.36-43.
- [93] Valchinov, E., Antoniou, A., Rotas, K. and Pallikarakis, N., 2014, November. Wearable ECG system for health and sports monitoring. In *2014 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare-Transforming Healthcare Through Innovations in Mobile and Wireless Technologies (MOBIHEALTH)* (pp. 63-66). IEEE.
- [94] Lee, J.S., Heo, J., Lee, W.K., Lim, Y.G., Kim, Y.H. and Park, K.S., 2014. Flexible capacitive electrodes for minimizing motion artifacts in ambulatory electrocardiograms. *Sensors*, 14(8), pp.14732-14743.
- [95] Castillejo, P., Martinez, J.F., Rodriguez-Molina, J. and Cuerva, A., 2013. Integration of wearable devices in a wireless sensor network for an E-health application. *IEEE Wireless Communications*, 20(4), pp.38-49.
- [96] Andreoni, G., Standoli, C.E. and Perego, P., 2015. Wearable monitoring of elderly in an ecologic setting: The SMARTA project. *Proc. Sensors Appl*, pp.1-18.
- [97] Tseng, K.C., Lin, B.S., Liao, L.D., Wang, Y.T. and Wang, Y.L., 2013. Development of a wearable mobile electrocardiogram monitoring system by using novel dry foam electrodes. *IEEE systems Journal*, 8(3), pp.900-906.
- [98] Suzuki, T., Tanaka, H., Minami, S., Yamada, H. and Miyata, T., 2013, March. Wearable wireless vital monitoring technology for smart health care. In *2013 7th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)* (pp. 1-4). IEEE.
- [99] Alsulami, M.H., Almuayqil, S.N. and Atkins, A.S., 2021. A comparison between heart-rate monitoring smart devices for ambient assisted living. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp.1-12.
- [100] Malhi, K., Mukhopadhyay, S.C., Schnepfer, J., Haefke, M. and Ewald, H., 2010. A zigbee-based wearable physiological parameters monitoring system. *IEEE sensors journal*, 12(3), pp.423-430.
- [101] Hong, Y.J., Kim, I.J., Ahn, S.C. and Kim, H.G., 2010. Mobile health monitoring system based on activity recognition using accelerometer. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(4), pp.446-455.
- [102] Szakonyi, B., Vassányi, I., Schumacher, E. and Kósa, I., 2021. Efficient methods for acute stress detection using heart rate variability data from Ambient Assisted Living sensors. *BioMedical Engineering OnLine*, 20(1), pp.1-19.
- [103] Pandya, S., Gadekallu, T.R., Reddy, P.K., Wang, W. and Alazab, M., 2022. Infused-Heart: A novel knowledge-infused learning framework for diagnosis of cardiovascular events. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*.

- [104] Qureshi, M.A., Qureshi, K.N., Jeon, G. and Piccialli, F., 2022. Deep learning-based ambient assisted living for self-management of cardiovascular conditions. *Neural Computing and Applications*, 34(13), pp.10449-10467.
- [105] Montesinos, L., Castaldo, R. and Pecchia, L., 2018. Wearable inertial sensors for fall risk assessment and prediction in older adults: A systematic review and meta-analysis. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 26(3), pp.573-582.
- [106] Bertolotti, G.M., Cristiani, A.M., Colagiorgio, P., Romano, F., Bassani, E., Caramia, N. and Ramat, S., 2015. A wearable and modular inertial unit for measuring limb movements and balance control abilities. *IEEE Sensors Journal*, 16(3), pp.790-797.
- [107] Bejarano, N.C., Ambrosini, E., Pedrocchi, A., Ferrigno, G., Monticone, M. and Ferrante, S., 2014. A novel adaptive, real-time algorithm to detect gait events from wearable sensors. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 23(3), pp.413-422.
- [108] Chen, B., Chen, C., Hu, J., Sayeed, Z., Qi, J., Darwiche, H.F., Little, B.E., Lou, S., Darwish, M., Foote, C. and Palacio-Lascano, C., 2022. Computer Vision and Machine Learning-Based Gait Pattern Recognition for Flat Fall Prediction. *Sensors*, 22(20), p.7960.
- [109] Mulroy, S., Gronley, J., Weiss, W., Newsam, C. and Perry, J., 2003. Use of cluster analysis for gait pattern classification of patients in the early and late recovery phases following stroke. *Gait & posture*, 18(1), pp.114-125.
- [110] Snijders, A.H., Van De Warrenburg, B.P., Giladi, N. and Bloem, B.R., 2007. Neurological gait disorders in elderly people: clinical approach and classification. *The Lancet Neurology*, 6(1), pp.63-74.
- [111] Calado, A., Leite, P., Soares, F., Novais, P., Arezes, P., Sousa, F. and Silva, J., 2018. Real-Time Gesture Classification for Monitoring Elderly Physical Activity Using a Wireless Wearable Device. In *Ninth Int. Conf. Sens. Device Technol. Appl* (pp. 164-168).
- [112] Gresham, G., Hendifar, A.E., Spiegel, B., Neeman, E., Tuli, R., Rimel, B.J., Figlin, R.A., Meinert, C.L., Piantadosi, S. and Shinde, A.M., 2018. Wearable activity monitors to assess performance status and predict clinical outcomes in advanced cancer patients. *NPJ digital medicine*, 1(1), pp.1-8.
- [113] Ammal, S.M. and Jayashree, L.S., 2020. Early detection of cognitive impairment of elders using wearable sensors. In *Systems Simulation and Modeling for Cloud Computing and Big Data Applications* (pp. 147-159). Academic Press.
- [114] Wang, X., Ellul, J. and Azzopardi, G., 2020. Elderly fall detection systems: A literature survey. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, p.71.

- [115] De, D., Bharti, P., Das, S.K. and Chellappan, S., 2015. Multimodal wearable sensing for fine-grained activity recognition in healthcare. *IEEE Internet Computing*, 19(5), pp.26-35.
- [116] Gutiérrez, J., Rodríguez, V. and Martín, S., 2021. Comprehensive review of vision-based fall detection systems. *Sensors*, 21(3), p.947.
- [117] Zhou, Z., Dai, W., Eggert, J., Giger, J.T., Keller, J., Rantz, M. and He, Z., 2009, September. A real-time system for in-home activity monitoring of elders. In *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 6115-6118). IEEE.
- [118] Momin, M.S., Sufian, A., Barman, D., Dutta, P., Dong, M. and Leo, M., 2022. In-Home Older Adults' Activity Pattern Monitoring Using Depth Sensors: A Review. *Sensors*, 22(23), p.9067.
- [119] Lobanova, V., Slizov, V. and Anishchenko, L., 2022. Contactless Fall Detection by Means of Multiple Bioradars and Transfer Learning. *Sensors*, 22(16), p.6285.
- [120] Pearce, A., Zhang, J.A. and Xu, R., 2022. A Combined mmWave Tracking and Classification Framework Using a Camera for Labeling and Supervised Learning. *Sensors*, 22(22), p.8859.
- [121] Mishkhal, I., Kareem, S.A.A., Saleh, H.H. and Alqayyar, A., 2020, November. Deep Learning with network of Wearable sensors for preventing the Risk of Falls for Older People. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 928, No. 3, p. 032050). IOP Publishing.
- [122] Lin, C.B., Huang, Y.F., Chen, L.X., Chang, Y.C., Hong, Z. and Chen, J.S., 2018, March. A low-costed positioning system based on wearable devices for elders and children in a local area. In *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems* (pp. 324-332). Springer, Cham.
- [123] Derawi, M. and Bours, P., 2013. Gait and activity recognition using commercial phones. *computers & security*, 39, pp.137-144.
- [124] Sun, F., Zang, W., Gravina, R., Fortino, G. and Li, Y., 2020. Gait-based identification for elderly users in wearable healthcare systems. *Information fusion*, 53, pp.134-144.
- [125] Feng, J., Zhou, C., He, C., Li, Y. and Ye, X., 2017. Development of an improved wearable device for core body temperature monitoring based on the dual heat flux principle. *Physiological measurement*, 38(4), p.652.
- [126] Shan, C., Hu, J., Zou, J. and Zhang, A., 2021. Wearable personal core body temperature measurement considering individual differences and dynamic tissue blood perfusion. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 26(5), pp.2158-2168.

- [127] Colella, R. and Catarinucci, L., 2018, May. Wearable UHF RFID sensor tag in 3D-printing technology for body temperature monitoring. In 2018 2nd URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC) (pp. 1-4). IEEE.
- [128] Butt, M.A., Kazanskiy, N.L. and Khonina, S.N., 2022. Revolution in Flexible Wearable Electronics for Temperature and Pressure Monitoring—A Review. *Electronics*, 11(5), p.716.
- [129] Yuan, J. and Zhu, R., 2020. A fully self-powered wearable monitoring system with systematically optimized flexible thermoelectric generator. *Applied energy*, 271, p.115250.
- [130] Guo, J., Zhou, B., Yang, C., Dai, Q. and Kong, L., 2019. Stretchable and temperature-sensitive polymer optical fibers for wearable health monitoring. *Advanced Functional Materials*, 29(33), p.1902898.
- [131] Xiang, Z., Wan, L., Gong, Z., Zhou, Z., Ma, Z., OuYang, X., He, Z. and Chan, C.C., 2019. Multifunctional textile platform for fiber optic wearable temperature-monitoring application. *Micromachines*, 10(12), p.866.
- [132] Trung, T.Q., Le, H.S., Dang, T.M.L., Ju, S., Park, S.Y. and Lee, N.E., 2018. Freestanding, fiber-based, wearable temperature sensor with tunable thermal index for healthcare monitoring. *Advanced Healthcare Materials*, 7(12), p.1800074.
- [133] Kuzubasoglu, B.A., Sayar, E., Cochrane, C., Koncar, V. and Bahadir, S.K., 2021. Wearable temperature sensor for human body temperature detection. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(4), pp.4784-4797.
- [134] Yang, H., Xue, T., Li, F., Liu, W. and Song, Y., 2019. Graphene: diversified flexible 2D material for wearable vital signs monitoring. *Advanced Materials Technologies*, 4(2), p.1800574.
- [135] Pang, Y., Yang, Z., Yang, Y. and Ren, T.L., 2020. Wearable electronics based on 2D materials for human physiological information detection. *Small*, 16(15), p.1901124.
- [136] Servati, A., Zou, L., Wang, Z.J., Ko, F. and Servati, P., 2017. Novel flexible wearable sensor materials and signal processing for vital sign and human activity monitoring. *Sensors*, 17(7), p.1622.
- [137] Gu, Y., Zhang, T., Chen, H., Wang, F., Pu, Y., Gao, C. and Li, S., 2019. Mini review on flexible and wearable electronics for monitoring human health information. *Nanoscale research letters*, 14(1), pp.1-15.
- [138] Kale, S., Mane, S. and Patil, P., 2017, May. IOT based wearable biomedical monitoring system. In 2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI) (pp. 971-976). IEEE.

- [139] Wan, J., AAH Al-awlaqi, M., Li, M., O'Grady, M., Gu, X., Wang, J. and Cao, N., 2018. Wearable IoT enabled real-time health monitoring system. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1), pp.1-10.
- [140] Ali, M.M., Haxha, S., Alam, M.M., Nwibor, C. and Sakel, M., 2020. Design of internet of things (IoT) and android based low cost health monitoring embedded system wearable sensor for measuring SpO₂, heart rate and body temperature simultaneously. *Wireless Personal Communications*, 111(4), pp.2449-2463.
- [141] Bullón Pérez, J., Hernández Encinas, A., Martín-Vaquero, J., Queiruga-Dios, A., Martínez Nova, A. and Torreblanca González, J., 2017, June. Proposal of wearable sensor-based system for foot temperature monitoring. In *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence* (pp. 165-172). Springer, Cham.
- [142] Atallah, L., Ciuhu, C., Wang, C., Bongers, E., Blom, T., Paulussen, I. and Noordergraaf, G.J., 2018, March. An ergonomic wearable core body temperature sensor. In *2018 IEEE 15th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)* (pp. 70-73). IEEE.
- [143] Hendry, J., Sumanto, B., Prayoga, B.T., Budiani, R.L., Lestari, R.A., Yuda, P.P. and Nugroho, A.A., 2021, March. Prototype of wearable glasses for body temperature monitoring for COVID-19 mitigation. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1844, No. 1, p. 012014). IOP Publishing.
- [144] Buller, M.J., Welles, A.P. and Friedl, K.E., 2018. Wearable physiological monitoring for human thermal-work strain optimization. *Journal of applied physiology*, 124(2), pp.432-441.
- [145] Song, C., Zeng, P., Wang, Z., Zhao, H. and Yu, H., 2018. Wearable continuous body temperature measurement using multiple artificial neural networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(10), pp.4395-4406.
- [146] Nakata, S., Arie, T., Akita, S. and Takei, K., 2017. Wearable, flexible, and multifunctional healthcare device with an ISFET chemical sensor for simultaneous sweat pH and skin temperature monitoring. *ACS sensors*, 2(3), pp.443-448.
- [147] Verma, N., Haji-Abolhassani, I., Ganesh, S., Vera-Aguilera, J., Paludo, J., Heitz, R., Markovic, S.N., Kulig, K. and Ghoreyshi, A., 2021. A novel wearable device for continuous temperature monitoring & fever detection. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 9, pp.1-7.
- [148] Siddiqui, S.A., Zhang, Y., Lloret, J., Song, H. and Obradovic, Z., 2018. Pain-free blood glucose monitoring using wearable sensors: Recent advancements and future prospects. *IEEE reviews in biomedical engineering*, 11, pp.21-35.

- [149] Lee, H., Song, C., Hong, Y.S., Kim, M., Cho, H.R., Kang, T., Shin, K., Choi, S.H., Hyeon, T. and Kim, D.H., 2017. Wearable/disposable sweat-based glucose monitoring device with multistage transdermal drug delivery module. *Science advances*, 3(3), p.e1601314.
- [150] Mano, T., Nagamine, K., Ichimura, Y., Shiwaku, R., Furusawa, H., Matsui, H., Kumaki, D. and Tokito, S., 2018. Printed Organic Transistor-Based Enzyme Sensor for Continuous Glucose Monitoring in Wearable Healthcare Applications. *ChemElectroChem*, 5(24), pp.3881-3886.
- [151] Wang, G., Poscente, M.D., Park, S.S., Andrews, C.N., Yadid-Pecht, O. and Mintchev, M.P., 2017. Wearable microsystem for minimally invasive, pseudo-continuous blood glucose monitoring: The e-mosquito. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 11(5), pp.979-987.
- [152] Emaminejad, S., Gao, W., Wu, E., Davies, Z.A., Yin Yin Nyein, H., Challa, S., Ryan, S.P., Fahad, H.M., Chen, K., Shahpar, Z. and Talebi, S., 2017. Autonomous sweat extraction and analysis applied to cystic fibrosis and glucose monitoring using a fully integrated wearable platform. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 114(18), pp.4625-4630.
- [153] Lei, L., Zhao, C., Zhu, X., Yuan, S., Dong, X., Zuo, Y. and Liu, H., 2022. Nonenzymatic electrochemical sensor for wearable interstitial fluid glucose monitoring. *Electroanalysis*, 34(2), pp.415-422.
- [154] Kim, K.O., Kim, G.J. and Kim, J.H., 2019. A cellulose/B-cyclodextrin nanofiber patch as a wearable epidermal glucose sensor. *RSC advances*, 9(40), pp.22790-22794.
- [155] Kim, J., Campbell, A.S. and Wang, J., 2018. Wearable non-invasive epidermal glucose sensors: A review. *Talanta*, 177, pp.163-170.
- [156] Katseli, V., Economou, A. and Kokkinos, C., 2021. Smartphone-addressable 3D-printed electrochemical ring for nonenzymatic self-monitoring of glucose in human sweat. *Analytical Chemistry*, 93(7), pp.3331-3336.
- [157] Khor, S.M., Choi, J., Won, P. and Ko, S.H., 2022. Challenges and Strategies in Developing an Enzymatic Wearable Sweat Glucose Biosensor as a Practical Point-Of-Care Monitoring Tool for Type II Diabetes. *Nanomaterials*, 12(2), p.221.
- [158] Elsherif, M., Hassan, M.U., Yetisen, A.K. and Butt, H., 2018. Wearable contact lens biosensors for continuous glucose monitoring using smartphones. *ACS nano*, 12(6), pp.5452-5462.
- [159] Deng, M., Song, G., Zhong, K., Wang, Z., Xia, X. and Tian, Y., 2022. Wearable fluorescent contact lenses for monitoring glucose via a smartphone. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 352, p.131067.

- [160] Jones, L., Hui, A., Phan, C.M., Read, M.L., Azar, D., Buch, J., Ciolino, J.B., Naroo, S.A., Pall, B., Romond, K. and Sankaridurg, P., 2021. BCLA CLEAR–Contact lens technologies of the future. *Contact Lens and Anterior Eye*, 44(2), pp.398-430.
- [161] Abdolrazzagli, M., Katchinskiy, N., Elezzabi, A.Y., Light, P.E. and Daneshmand, M., 2021. Noninvasive glucose sensing in aqueous solutions using an active split-ring resonator. *IEEE Sensors Journal*, 21(17), pp.18742-18755.
- [162] Cappon, G., Acciaroli, G., Vettoretti, M., Facchinetti, A. and Sparacino, G., 2017. Wearable continuous glucose monitoring sensors: a revolution in diabetes treatment. *Electronics*, 6(3), p.65.
- [163] de Castro, L.F., de Freitas, S.V., Duarte, L.C., de Souza, J.A.C., Paixão, T.R. and Coltro, W.K., 2019. Salivary diagnostics on paper microfluidic devices and their use as wearable sensors for glucose monitoring. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 411(19), pp.4919-4928.
- [164] Liu, Q., Liu, Y., Wu, F., Cao, X., Li, Z., Alharbi, M., Abbas, A.N., Amer, M.R. and Zhou, C., 2018. Highly sensitive and wearable In₂O₃ nanoribbon transistor biosensors with integrated on-chip gate for glucose monitoring in body fluids. *ACS nano*, 12(2), pp.1170-1178.
- [165] Yoon, H., Xuan, X., Jeong, S. and Park, J.Y., 2018. Wearable, robust, non-enzymatic continuous glucose monitoring system and its in vivo investigation. *Biosensors and Bioelectronics*, 117, pp.267-275.
- [166] Bae, C.W., Toi, P.T., Kim, B.Y., Lee, W.I., Lee, H.B., Hanif, A., Lee, E.H. and Lee, N.E., 2019. Fully stretchable capillary microfluidics-integrated nanoporous gold electrochemical sensor for wearable continuous glucose monitoring. *ACS applied materials & interfaces*, 11(16), pp.14567-14575.
- [167] Hanna, J., Bteich, M., Tawk, Y., Ramadan, A.H., Dia, B., Asadallah, F.A., Eid, A., Kanj, R., Costantine, J. and Eid, A.A., 2020. Noninvasive, wearable, and tunable electromagnetic multisensing system for continuous glucose monitoring, mimicking vasculature anatomy. *Science Advances*, 6(24), p.eaba5320.
- [168] Cioffi, V. and Costanzo, S., 2019, April. Wearable approach for contactless blood-glucose monitoring by textile antenna sensor. In *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 287-291). Springer, Cham.
- [169] Rachim, V.P. and Chung, W.Y., 2019. Wearable-band type visible-near infrared optical biosensor for non-invasive blood glucose monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 286, pp.173-180.
- [170] Rodin, D., Kirby, M., Sedogin, N., Shapiro, Y., Pinhasov, A. and Kreinin, A., 2019. Comparative accuracy of optical sensor-based wearable system for non-invasive measurement of blood glucose concentration. *Clinical biochemistry*, 65, pp.15-20.

- [171] Lee, H., Hong, Y.J., Baik, S., Hyeon, T. and Kim, D.H., 2018. Enzyme-based glucose sensor: from invasive to wearable device. *Advanced healthcare materials*, 7(8), p.1701150.
- [172] Cho, E., Mohammadifar, M. and Choi, S., 2017, January. A self-powered sensor patch for glucose monitoring in sweat. In *2017 IEEE 30th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)* (pp. 366-369). IEEE.
- [173] Zhao, Y., Zhai, Q., Dong, D., An, T., Gong, S., Shi, Q. and Cheng, W., 2019. Highly stretchable and strain-insensitive fiber-based wearable electrochemical biosensor to monitor glucose in the sweat. *Analytical chemistry*, 91(10), pp.6569-6576.
- [174] Iyawa, G.E., Velusamy, V. and Palanisamy, S., 2019. Wearable technologies for glucose monitoring: A systematic mapping study of publication trends. *The IoT and the Next Revolutions Automating the World*, pp.106-121.
- [175] Chen, Q. and Tang, L., 2020. A wearable blood oxygen saturation monitoring system based on bluetooth low energy technology. *Computer Communications*, 160, pp.101-110.
- [176] Jiao, B., 2020. Anti-motion interference wearable device for monitoring blood oxygen saturation based on sliding window algorithm. *IEEE Access*, 8, pp.124675-124687.
- [177] Cascales, J.P., Greenfield, D.A., Roussakis, E., Witthauer, L., Li, X., Goss, A. and Evans, C.L., 2021. Wireless wearable sensor paired with machine learning for the quantification of tissue oxygenation. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(24), pp.17557-17567.
- [178] Sandoval, J.P.C., Greenfield, D.L., Roussakis, E., Li, X., Goss, A., Witthauer, L., Kelley, L. and Evans, C.L., 2022, March. Wearable device and methods for non-invasive measurements of tissue oxygenation. In *Biophotonics in Exercise Science, Sports Medicine, Health Monitoring Technologies, and Wearables III* (p. PC1195603). SPIE.
- [179] Davies, H.J., Williams, I., Peters, N.S. and Mandic, D.P., 2020. In-ear spo₂: A tool for wearable, unobtrusive monitoring of core blood oxygen saturation. *Sensors*, 20(17), p.4879.
- [180] Davies, H.J., Williams, I., Peters, N.S. and Mandic, D.P., 2020. In-ear spo₂: A tool for wearable, unobtrusive monitoring of hypoxaemia in covid-19. *MedRxiv*.
- [181] Khan, Y., Han, D., Ting, J., Ahmed, M., Nagisetty, R. and Arias, A.C., 2019. Organic multi-channel optoelectronic sensors for wearable health monitoring. *IEEE Access*, 7, pp.128114-128124.
- [182] Liu, X., Gu, Y., Huang, C., Zhao, M., Cheng, Y., Jawdeh, E.G.A., Bada, H.S., Chen, L. and Yu, G., 2021. Simultaneous measurements of tissue blood flow and oxygenation using a wearable fiber-free optical sensor. *Journal of Biomedical Optics*, 26(1), p.012705.

- [183] Xie, Y., Gao, Y., Li, Y., Lu, Y. and Li, W., 2017, November. Development of wearable pulse oximeter based on internet of things and signal processing techniques. In 2017 European Modelling Symposium (EMS) (pp. 249-254). IEEE.
- [184] Albahri, A.S., Albahri, O.S., Zaidan, A.A., Zaidan, B.B., Hashim, M., Alsalem, M.A., Mohsin, A.H., Mohammed, K.I., Alamoodi, A.H., Enaizan, O. and Nidhal, S., 2019. Based multiple heterogeneous wearable sensors: A smart real-time health monitoring structured for hospitals distributor. IEEE access, 7, pp.37269-37323.
- [185] Murali, S., Rincon, F., Cassina, T., Cook, S. and Goy, J.J., 2020. Heart rate and oxygen saturation monitoring with a new wearable wireless device in the intensive care unit: Pilot comparison trial. JMIR Biomedical Engineering, 5(1), p.e18158.
- [186] Zhang, Y., Yang, Z., Zhang, Z., Li, P., Cao, D., Liu, X., Zheng, J., Yuan, Q. and Pan, J., 2018, November. Breathing disorder detection using wearable electrocardiogram and oxygen saturation. In Proceedings of the 16th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (pp. 313-314).
- [187] Sasidharan, P., Rajalakshmi, T. and Snehalatha, U., 2019, April. Wearable cardiorespiratory monitoring device for heart attack prediction. In 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP) (pp. 0054-0057). IEEE.
- [188] Fan, Y., Xu, P., Jin, H., Ma, J. and Qin, L., 2019. Vital sign measurement in telemedicine rehabilitation based on intelligent wearable medical devices. IEEE Access, 7, pp.54819-54823.
- [189] Si, J., Zhang, X., Li, M., Yu, J., Zhang, Z., He, Q., Chen, S., Zhu, L. and Jiang, T., 2021. Wearable wireless real-time cerebral oximeter for measuring regional cerebral oxygen saturation. Science China Information Sciences, 64(1), pp.1-10.
- [190] Beniczky, S., Arbune, A.A., Jeppesen, J. and Ryvlin, P., 2020. Biomarkers of seizure severity derived from wearable devices. Epilepsia, 61, pp.S61-S66.
- [191] Buekers, J., Theunis, J., De Boever, P., Vaes, A.W., Koopman, M., Janssen, E.V., Wouters, E.F., Spruit, M.A. and Aerts, J.M., 2019. Wearable finger pulse oximetry for continuous oxygen saturation measurements during daily home routines of patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) over one week: observational study. JMIR mHealth and uHealth, 7(6), p.e12866.
- [192] Sen, P., Kantareddy, S.N.R., Bhattacharyya, R., Sarma, S.E. and Siegel, J.E., 2019. Low-cost diaper wetness detection using hydrogel-based RFID tags. IEEE Sensors Journal, 20(6), pp.3293-3302.
- [193] Martínez-Estrada, M., Fernández-García, R. and Gil, I., 2020, August. A wearable system to detect urine leakage based on a textile sensor. In 2020 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS) (pp. 1-3). IEEE.

- [194] Shuaib, D., Ukkonen, L., Virkki, J. and Merilampi, S., 2017, April. The possibilities of embroidered passive UHF RFID textile tags as wearable moisture sensors. In 2017 IEEE 5th international conference on serious games and applications for health (SeGAH) (pp. 1-5). IEEE.
- [195] Su, H., Sun, F., Lu, Z., Zhang, J., Zhang, W. and Liu, J., 2022. A wearable sensing system based on smartphone and diaper to detect urine in-situ for patients with urinary incontinence. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 357, p.131459.
- [196] Lin, J.H., Shiu, B.C., Lou, C.W. and Chang, Y.J., 2017. Design and fabrication of smart diapers with antibacterial yarn. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017.
- [197] Zhou, J. and Dong, T., 2018. Design of a wearable device for real-time screening of urinary tract infection and kidney disease based on smartphone. *Analyst*, 143(12), pp.2812-2818.
- [198] Khan, T., 2018, May. A smart wearable gadget for noninvasive detection and notification of diaper moisture. In 2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT) (pp. 0240-0244). IEEE.
- [199] Zhao, J., Nyein, H.Y.Y., Hou, L., Lin, Y., Bariya, M., Ahn, C.H., Ji, W., Fan, Z. and Javey, A., 2021. A wearable nutrition tracker. *Advanced Materials*, 33(1), p.2006444.
- [200] Lazaro, A., Boada, M., Villarino, R. and Girbau, D., 2019. Battery-less smart diaper based on NFC technology. *IEEE Sensors Journal*, 19(22), pp.10848-10858.
- [201] Noyori, S.S., Nakagami, G. and Sanada, H., 2021. Non-invasive urine volume estimation in the bladder by electrical impedance-based methods: A review. *Medical Engineering & Physics*, p.103748.
- [202] Lee, M.H. and Shin, S.Y., 2018. Design of The Wearable Device considering ICT-based Silver-care. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 22(10), pp.1347-1354.
- [203] Zhang, J., Liu, J., Su, H., Sun, F., Lu, Z. and Su, A., 2021. A wearable self-powered biosensor system integrated with diaper for detecting the urine glucose of diabetic patients. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 341, p.130046.
- [204] Huang, Z., Xu, Y., Cheng, Y., Xue, M., Deng, M., Jaffrezic-Renault, N. and Guo, Z., 2022. Recent advances in skin-like wearable sensors: Sensor design, health monitoring, and intelligent auxiliary. *Sensors & Diagnostics*.
- [205] Liu, J., Liu, Z., Ding, H., 2013. Adherence to treatment and influencing factors in a sample of Chinese epilepsy patients. *Epileptic Disord.* 15, 289–294.
- [206] Iyengar, R., 2013. Complex diseases require complex therapies. *EMBO Rep.*, 14(12), 1039-1042.

- [207] Eisma, R., Dickinson, A., Goodman, J., Syme, A., Tiwari, L., & Newell, A. F., 2004. Early user involvement in the development of information technology-related products for older people. *Universal Access in the Information Society*, 3(2), 131-140.
- [208] John Anagnosto, "UX Study: Designing for older people", 2020 [Online] Available: <https://uxplanet.org/ux-study-designing-for-older-people-6c67575d9c2f> (accessed on 26 October 2022).
- [209] Dr Gyles Morrison MBBS MSc, "What is Healthcare UX and Why Is It So Important?" [Online] Available: <https://medium.com/@drgylesmorrison/what-is-healthcare-ux-and-why-is-it-so-important> (accessed on 26 October 2022)
- [210] Dr Gyles Morrison MBBS MSc, "Bad Healthcare UX is Killing People - How people-centred design and design thinking can make healthcare safer" [Online] Available: <https://medium.com/@drgylesmorrison/bad-healthcare-ux-is-still-killing-people-be3270f281b3> (accessed on 26 October 2022)
- [211] Minaam, D.S.A.; Abd-ELfattah, M., 2018. Smart drugs:Improving healthcare using Smart Pill Box for Medicine Reminder and Monitoring System. *Future Computing and Informatics Journal*, 3(2), 443-456.
- [212] Kalantarian, H.; Alshurafa, N.; Sarrafzadeh, M., 2016. Detection of Gestures Associated With Medication Adherence Using Smartwatch-Based Inertial Sensors. *IEEE Sensors Journal*, 16(4), pp. 1054-1061.
- [213] Santo, K.; Singleton, A.; Rogers, K., 2019. Medication reminder applications to improve adherence in coronary heart disease: a randomised clinical trial. *Heart*.
- [214] Karnilowicz, W., 2011 Identity and psychological ownership in chronic illness and disease state. *Eur J Cancer Care* , 20(2), 276-282.
- [215] Brian Krans, "6 of the Best Reminders for Your Medications" [Online] Available: <https://www.healthline.com/health/best-medication-reminders> (accessed on 26 October 2022)
- [216] Nelson Kakulla. Brittne. 2020 Tech Trends of the 50+. Washington, DC: AARP Research, January 2020. <https://doi.org/10.26419/res.00329.001> [Online] Available: <https://www.aarp.org/research/topics/technology/info-2019/2020-technology-trends-older-americans.html> (accessed on 26 October 2022)
- [217] Teixeira, A.; Ferreira, F.; Almeida, N., 2017. Design and development of Medication Assistant: older adults centred design to go beyond simple medication reminders. *Univ Access Inf Soc* 16, 545–560.
- [218] Fielding, R.T., 2000. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. University of California.

- [219] Rust Programming Language. Available online: <https://www.rust-lang.org/>. (accessed on 26 October 2022)
- [220] MedMinder. Available online: <https://www.medminder.com/> (accessed on 26 October 2022)
- [221] “Build Native Mobile Apps with Flutter” by Google [Online] Available <https://www.udacity.com/course/build-native-mobile-apps-with-flutter-ud905> (accessed on 26 October 2022)
- [222] John Ryan, “Learning Flutter’s new navigation and routing system” [Online] Available: <https://medium.com/flutter/learning-flutters-new-navigation-and-routing-system-7c9068155ade> (accessed on 26 October 2022)
- [223] World Health Organization. Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes> (accessed on 26 October 2022)
- [224] Unnikrishnan, R.; Saboo, B.; Kesavadev, J.; Deshpande, N.; Aravind, S.R.; Joshi, S.; Anjana, R.M.; Hussain, A.; Mohan, V., 2020.. Diabetes and coronavirus disease-2019 (COVID-19). *Journal of Diabetology*, 11, pp 52-56.
- [225] Dunne, N., Viggiani, M.T., Pardo, S., 2015. Accuracy Evaluation of CONTOUR®PLUS Compared With Four Blood Glucose Monitoring Systems. *Diabetes Ther* 6, 377–388.
- [226] Wiesel, J.; Arbesfeld, B.; Schechter, D., 2014. Comparison of the Microlife Blood Pressure Monitor With the Omron Blood Pressure Monitor for Detecting Atrial Fibrillation. *The American Journal of Cardiology*, 114(7), 1046-1048.
- [227] Hoffler, M.; Thompson, S.; Campbell, E.; Gaffney, A.J.; Allen, E.; Robinson, T., 2015. LipidPlus: A Device to Monitor Lipid Profile and Blood Glucose. *US Pharm.*, 40(6), HS35-HS40.
- [228] Bruen, D.; Delaney, C.; Florea, L.; Diamond, D., 2017. Glucose Sensing for Diabetes Monitoring: Recent Developments. *Sensors*.
- [229] B. Garcia-Lorenzo, B.; Rivero-Santana, A.; Vallejo-Torres, L.; Castilla-Rodriguez, I.; Garcia-Perez, S.; Garcia-Perez, L.; Perestelo-Perez, L., 2018. Cost effectiveness analysis of real-time continuous monitoring glucose compared to self-monitoring of blood glucose for diabetes mellitus in Spain. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*.
- [230] Peters, A.L., 2008. Clinical Relevance of Non-HDL Cholesterol in Patients with Diabetes. *American Diabetes Association*, 26.
- [231] Parati, G.; Ochoa, J.E.; Salvi, P.; Lombardi, C.; Bilo, G., 2013. Prognostic Value of Blood Pressure Variability and Average Blood Pressure Levels in Patients With Hypertension and Diabetes. *American Diabetes Association*, 36

- [232] Agamatrix, Available online: <https://agamatrix.com/blood-sugar-log-sheet/> (accessed on 26 October 2022)
- [233] Diabetes Guidelines, Available online: <https://guidelines.diabetes.ca/docs/patient-resources/blood-glucose-log.pdf> (accessed on 26 October 2022)
- [234] Glucosebuddy, Available online: <https://www.glucosebuddy.com/> (accessed on 26 October 2022)
- [235] SuderMan, Available online: <https://sudermansolutions.com/index.php/diabetes-journal/> (accessed on 26 October 2022)
- [236] European Commission, Available online: https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_en (accessed on 26 October 2022)