



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Žmogaus hidratacijos lygio stebėsenos algoritmo sukūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Rimvydas Eitminavičius

Projekto autorius

doc. dr. Andrius Rapalis

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Žmogaus hidratacijos lygio stebėsenos algoritmo sukūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Biomedicininė inžinerija (6211EX002)

Rimvydas Eitminavičius

Projekto autorius

doc. dr. Andrius Rapalis

Vadovas

doc. dr. Rytis Jurkonis

Recenzentas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Rimvydas Eitminavičius

Žmogaus hidratacijos lygio stebėsenos algoritmo sukūrimas ir tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalintas iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Rimvydas Eitminavičius

Patvirtinta elektroniniu būdu

Eitminavičius Rimvydas. Žmogaus hidratacijos lygio stebėsenos algoritmo sukūrimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Andrius Rapalis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Bioinžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: dehidratacija, hiperhidratacija, bioimpedansas, intraląstelinis skystis, tarpląstelinis skystis, bendras kūno vandens tūris.

Kaunas, 2023. 45 p.

Santrauka

Vanduo sudaro 50 – 70 % žmogaus kūno masės ir atlieka daug, gyvybiškai svarbių, funkcijų – reguliuoja kūno temperatūrą, kraujo tūrį ir spaudimą, veikia kaip sąnarių tepalas ir palaiko tinkamą kūno audinių struktūrą, sudaro terpę maistinių medžiagų pernašai ir leidžia vykti įvairioms biocheminėms metabolizmo reakcijoms. Socialinėje erdvėje dažnai girdima, kad reikia išgerti tam tikrą litrų ar puodelių skaičių vandens norint palaikyti tinkamą organizmo funkciją, tačiau tikslus kiekis yra individualus ir gali kisti. Kiek kiekvienam žmogui reikia suvartoti vandens priklauso nuo daugybės veiksnių – amžiaus, lyties, fizinio aktyvumo lygio ir klimato. Tam tikrų grupių žmonėms, pvz., ūkio sektoriaus darbuotojams, profesionaliems sportininkams, kariškiams, vyresniems žmonėms, inkstų ir širdies ligomis sergantiems žmonėms, tinkamas kūno vandens skysčių balansas yra ypatingai svarbus, dėl specifiško darbo pobūdžio, darbo aplinkos ar klimato.

Remiantis statistikos duomenimis, nurodama, kad 75 % JAV gyventojų yra dehidratavę. Pagal Jungtinės Karalystės nacionalinio statistikos biuro duomenis apie 21 žmogus kiekvieną dieną patenka į ligoninę dėl dehidratacijos. Per 2011 ir 2012 metus beveik 8000 žmonių pateko į ligoninę iš namų dėl per mažai suvartojamų skysčių, šis skaičius per sekančius 5 metus pakilo 18 %. Netinkamas skysčių balansas, hemodializės pacientams, išlieka svarbiausiu veiksniu vertinant mirtingumą ir sergamumą pagal širdies ir kraujagyslių ligas. Skysčių kiekio stebėjimas nemažiau svarbus ir širdies nepakankamumą turintiems žmonėms, tokių pacientų vien JAV yra apie 5 milijonus.

Hidratacijos lygis dažniausiai apibūdinamas kaip bendro kūno vandens kiekis procentais nuo kūno svorio. Įprastas, sveiko žmogaus, hidratacijos lygio svyravimas dažniausiai yra iki 2 % kūno svorio. Vos 4 % vandens netekimas gali sumažinti fizinį darbingumą netgi 50 %. Šiuo metu, galima atlikti aibę skirtingų tyrimų, hidratacijos lygiui įvertinti, tačiau daugelis iš jų negali būti įgyvendinti dėvimuose prietaisuose ir dėl to netinka nuolatinei stebėsenai. Pats tiksliausias hidratacijos įvertinimo tyrimas („auksinis standartas“) yra kraujo plazmos osmosiškumo tyrimas. Tačiau šis ir daugelis kitų laboratorinių metodų yra invaziniai, todėl nors ir yra labai tikslūs, nėra patogūs, jei tyrimą reikia kartoti kelis kartus. Bioimpedansas – tai neinvazinis ir greitas viso kūno tyrimas. Šis tyrimas yra labiausiai paplitęs tiriant kūno kompoziciją ir dažniausiai naudojamas komerciniuose prietaisuose. Bioimpedanso spektroskopijos metodas išsiskiria savo paprastumu ir greitumu, bei leidžia įvertinti bendrą kūno vandens tūrį arba atskirų kūno dalių vandens tūrį taip suteikiant galimybę dar tiksliau įvertinti sveikatos būklę ir nustatyti tokias patologijas kaip edema.

Siekiant ištirti žmogaus hidratacijos vertinimo algoritmą, atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu surinktos dvi duomenų bazės. Pirmoji sudaryta iš 22 tiriamųjų ir naudojama ištirti sukurto hidratacijos

vertinimo algoritmo tikslumą, antroji sutaryta iš 12 tiriamųjų ir naudojama ištirti sukurto hidratacijos vertinimo algoritmo tikslumą hidratacijos lygiui kintant laike (5 dienos). Matavimams atlikti buvo naudojamas atraminis prietaisas SFB7 (Impedimed, Australija) ir sukurtas dėvimos sistemos prototipas.

Ištirus sistemos prototipą, naudojant bazinį algoritmą, nustatyta 1,02 % sisteminė paklaida ir atsitiktinė paklaida nuo -3,25 % iki 5,29 % (95 % pasikliautinumo intervalas). Pašalinus išskirtis, 50 % verčių patenka į -0,05 – 2,25 % intervalą. Atlikus personalizuotą kalibravimą nustatyta 0,20 % sisteminė paklaida ir atsitiktinė paklaida patenkanti į intervalą nuo -2,68 % iki 3,09 %. Šiuo atveju išskirčių nenustatyta, o 50 % verčių patenka į 0,65 – 1,23 % intervalą. Bazinio algoritmo vidutinės kvadratinės paklaidos: tarpląstelinio skysčio 0,78 l, intraląstelinio skysčio 1,42 l, bendro kūno vandens tūrio 1,70 l, bendro kūno vandens tūrio 2,36 %. Personalizuotos kalibracijos algoritmo vidutinės kvadratinės paklaidos: tarpląstelinio skysčio 0,69 l, intraląstelinio skysčio 0,79 l, bendro kūno vandens tūrio 1,15 l, bendro kūno vandens tūrio 1,45 %. Didžiausias pagerėjimas matomas vertinant intraląstelinio skysčio tūrį. Vertinant hidratacijos lygio kitimą bėgant laikui nustatyta, kad visų tiriamųjų, penkių dienų pokyčių, vidutinės kvadratinės paklaidos, tarp atraminio prietaiso ir sistemos prototipo, mediana siekė 2,29 % (tarpkvartilinis plotis 1,94–2,62 %). Pritaikius personalizuotą kalibravimą pagal pirmosios dienos matavimą (ranka – koja) ir atlikus penkių dienų analizę (matuojant ranka – ranka), nustatyta, vidutinės kvadratinės paklaidos mediana siekė 1,99 % (tarpkvartilinis plotis 1,37–2,31 %).

Eitminavičius Rimvydas. Development and Investigation of Algorithm for Monitoring Human Body Hydration Level. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. Andrius Rapalis; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Bioengineering, Engineering Sciences.

Keywords: dehydration, hyperhydration, bioimpedance, intracellular water, extracellular water, total body water.

Kaunas, 2023. 45p.

Summary

Water compromises 50 – 70 % of body weight and performs, many vital functions – regulates body temperature, blood volume and pressure, acts as a lubricant for the joints, and maintains the proper structure of body tissues as well as provides a medium for the transportation of nutrients and allows various biochemical metabolic reactions. You can often hear that you need to drink a certain number of cups of water to maintain proper bodily function, but unfortunately, it is highly individual and can vary. How much water each person needs to consume depends on many factors - age, gender, activity level, and climate. For certain groups of people, a proper balance of body fluids is extremely important, due to the specific nature of the job, the work environment, or the climate. Such groups include farm workers, professional athletes, the military, the elderly, and people with kidney disease.

According to statistical data it has been estimated that 75% of the US population is dehydrated. According to the UK Office for National Statistics, about 21 people are admitted to hospital every day because of dehydration. In 2011 and 2012, almost 8,000 people were admitted to hospital from home due to insufficient fluid intake, a figure that rose by 18% in the following 5 years. Inadequate fluid balance in hemodialysis patients remains the most important factor in cardiovascular mortality and morbidity. Fluid monitoring is equally important for people with heart failure, of which there are approximately 5 million in the USA alone.

Hydration level is usually defined as total body water as a percentage of body weight. The normal fluctuation range of hydration level in a healthy person is usually up to 2% of body weight. A water loss of as little as 4% can reduce physical performance by up to 50%. Several tests exist to assess hydration levels, but many of them cannot be implemented on wearable devices and are therefore not suitable for continuous monitoring. The most accurate test for assessing hydration ("gold standard") is the plasma osmolality test. However, this and many other laboratory methods are invasive and, although highly accurate, are not convenient if the test must be repeated several times. Bioimpedance is a non-invasive and rapid whole-body test. It is the most common test for body composition and is mostly used in commercial devices. Bioimpedance spectroscopy is distinguished by its simplicity, speed and allows the assessment of the total body water volume or the water volumes of individual parts of the body, thus enabling a more accurate assessment of health status and the detection of pathologies such as edema.

To investigate an algorithm for human hydration estimation, experimental studies were carried out on two databases. The first one is used to investigate the accuracy of the developed hydration assessment algorithm. Twenty-two subjects participated in experimental study No. 1. The second is used to investigate the accuracy of the developed hydration estimation algorithm as the hydration

level changes over time (5 days). Twelve subjects participated in experimental study No. 2. The SFB7 (Impedimed, Australia) and a developed system prototype were both used to make measurements SFB7 being a reference device.

The prototype system was tested using the baseline algorithm which resulted in a systematic error of 1.02 %. The random error falls in the range of -3,25 % to 5,29 % (95 % confidence interval). After removing outliers, 50 % of the values fall in the range of -0,05 to 2,25 %. The personalized calibration showed a systematic error of 0,20 %. The random error falls in the range of -2,68 % to 3,09 %. In this case, no outliers were detected and 50 % of the values fell within the range of 0,65 % to 1,23 %. The root mean square errors of the baseline algorithm are 0,78 l for extracellular water, 1,42 l for intracellular water, 1,70 l for total body water and 2,36 % for total body water. The root mean square errors of the personalized calibration algorithm are 0,69 l for extracellular water, 0,79 l for intracellular water, 1,15 l for total body water and 1,45 % for total body water. When looking at the change in hydration levels over time, the median root mean square error between the reference device and the prototype system was 2.29 % (interquartile range 1.94-2.62 %) for all subjects, with a five-day change. After personalized calibration to the first day's measurement (hand-foot) and a five-day analysis (hand-to-hand), the median root mean square error was found to be 1,99 % (interquartile range 1,37-2,31 %).

Padėka

Esu dėkingas darbo vadovui doc. dr. Andriui Rapaliui už pagalbą ir palaikymą rengiant šį darbą. Mokytis iš vadovo kurio idėjos niekada neišsenka ir kuris nuolat verčia judėti pirmyn bei tobulėti su kiekvienu šio darbo sakiniu yra tikras motyvacijos šaltinis. Magistro studijų pradžioje su vadovu laimėjome Lietuvos mokslų tarybos (LMT) studentų mokslinę praktiką, kuri truko 6 mėnesius ir suteikė daug patirties bei įžvalgų ne tik darbo tematikoje, bet ir kitose srityse. Praktikos metu atliktas darbas buvo pristatytas galutinėje, studentų mokslinės praktikos, darbų viešinimo konferencijoje.

Taip pat esu dėkingas KTU biomedicininės inžinerijos institutui už galimybę prisidėti prie mokslinių tyrimų projekto „Žmogaus hidratacijos pokyčių stebėsenos jutiklio prototipo ir stotelės naudotojo identifikavimo funkcijos kūrimas“ (Sutarties Nr. SV9-3116).

Darbo vadovui ir KTU biomedicininės inžinerijos instituto kolektyvui už pagalbą ir komandinį darbą dalyvaujant ir rengiant projektą pristatytą technologijų ir inovacijų parodoje „Technorama 2022“, kur laimėjome prizinę vietą ir buvome apdovanoti tarptautinės įmonės „Softeq“ prizais.

Turinys

Lentelių sąrašas	10
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų ir terminų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros analizė.....	15
1.1. Aktualumas.....	15
1.2. Hidratacijos lygis.....	16
1.3. Hidratacijos vertinimo metodai	17
1.3.1. Laboratoriniai tyrimai.....	17
1.3.2. Bioimpedansas.....	18
1.3.3. Kiti tyrimai	20
1.4. Hidratacijos vertinimo sistemos	21
1.5. Skyriaus išvados	23
2. Metodologija	24
2.1. Matavimų platforma	24
2.1.1. Dėvimos sistemos prototipas	24
2.1.2. Atraminis prietaisas	25
2.2. Hidratacijos lygio pokyčių vertinimo algoritmo struktūra	26
2.2.1. Bazinis algoritmas	26
2.2.2. Personalizuota kalibracija.....	28
2.3. Eksperimentiniai tyrimai ir duomenų bazė.....	29
3. Rezultatai.....	31
3.1. Prototipo tyrimas	31
3.2. Hidratacijos algoritmo tyrimas	33
3.3. Hidratacijos lygio ilgalaikė stebėsena	35
Tolimesnės tyrimų kryptys	39
Išvados	40
Literatūros sąrašas	41
Priedai.....	44
1 priedas. Darbo viešinimas: „Technorama“ 2022	44
2 priedas. LMT studentų mokslinė praktika.....	45

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Eksperimentinio tyrimo Nr. 1 tiriamųjų parametrai. Pateikiama mediana (ruožas).....	29
2 lentelė. Eksperimentinio tyrimo Nr. 2 tiriamųjų parametrai. Pateikiama mediana (ruožas).....	30
3 lentelė. Bazinio algoritmo ir personalizuotos kalibracijos algoritmo vidutinės kvadratinė paklaidos (angl. <i>RMSE</i>) lyginant su atraminiu prietaisu.....	35

Paveikslų sąrašas

1 pav. Vandens pasiskirstymas kūne.....	17
2 pav. Biologinių audinių dielektrinės konstantos dispersijos regionai [29]	18
3 pav. Kintamos srovės kelias žmogaus kūne [30]	19
4 pav. Cole–Cole (Naikvisto) diagrama [30]	19
5 pav. BIS duomenų iškraipymai esant parazitinei talpai	20
6 pav. Profesionalūs prietaisai. Modeliai: MoistureMeterD (a), Sozo (b), Biody (c).....	21
7 pav. Kūno kompozicijos svarstyklės. Modeliai: Withings Body+ (a), Omron HBF-375 (b)	22
8 pav. Dėvimi prietaisai. Modeliai: hDrop (a), AuraStrap 2 (b), Galaxy watch 5 (c)	23
9 pav. Eksperimentinės įrangos prototipas (a), suprojektuotas bioimpedanso registravimo modulis (b) ir mikrokompiuteris Raspberry Pi (c).....	24
10 pav. Eksperimente naudota signalų registravimo sistema ir rankiniai dinamometrai su pritaisytais elektrodais.....	25
11 pav. Prototipo testavimo metu naudota elektrinė grandinė (a) ir jos Cole–Cole (Naikvisto) diagrama atitinkanti žmogaus kūno modelį (b)	25
12 pav. Tyrimams skirtas atraminis prietaisas SFB7 (Impedimed, Australija) ir standartinio tyrimo metu naudojamos elektrodų klijavimo vietos bei matavimo pozicija [43].....	26
13 pav. Žmogaus hidratacijos pokyčių vertinimo struktūrinė architektūra.....	27
14 pav. Cole – Cole diagrama prieš vėlinimo korekciją ir po korekcijos	27
15 pav. Cole – Cole diagrama, jos ekstrapoliavimas ir surasta nulinė ir begalinė varžos	28
16 pav. Žmogaus hidratacijos pokyčių vertinimo struktūrinė architektūra su personalizuota kalibracija	29
17 pav. AD5940 stendo trijų matavimų duomenys.....	31
18 pav. Prototipu (AD5940) ir SFB7 prietaisais išmatuoto modelio, atitinkančio žmogaus kūną, matavimų duomenys.....	32
19 pav. Matavimo rezultatų priklausomybė nuo elektrodų prispaudimo jėgos: realioji dalis (a), menamoji dalis (b).....	32
20 pav. Tarpląstelinio skysčio tūrio tyrimo rezultatų analizė: Bland – Altmano diagrama prieš kalibraciją a), po kalibracijos b), stačiakampė diagrama c)	33
21 pav. Intraląstelinio skysčio tūrio tyrimo rezultatų analizė: Bland – Altmano diagrama prieš kalibraciją a), po kalibracijos b), stačiakampė diagrama c)	33
22 pav. Bendro vandens tūrio (litrais) tyrimo rezultatų analizė: Bland – Altmano diagrama prieš kalibraciją a), po kalibracijos b), stačiakampė diagrama c)	34
23 pav. Bendro vandens tūrio (dalis kūno svorio, %) tyrimo rezultatų analizė: Bland – Altmano diagrama prieš kalibraciją a), po kalibracijos b), stačiakampė diagrama c).....	34
24 pav. Vieno tiriamojo penkių dienų hidratacijos lygio kitimo pavyzdys	35
25 pav. 12-os žmonių hidratacijos lygio paklaidos 5-ių dienų laikotarpyje atlikus personalizuotą kalibravimą pirmą dieną TST, l.....	36
26 pav. 12-os žmonių hidratacijos lygio paklaidos 5-ių dienų laikotarpyje atlikus personalizuotą kalibravimą pirmą dieną IST, l.....	36
27 pav. 12-os žmonių hidratacijos lygio paklaidos 5-ių dienų laikotarpyje atlikus personalizuotą kalibravimą pirmą dieną BVT, l.....	37
28 pav. 12-os žmonių hidratacijos lygio paklaidos 5-ių dienų laikotarpyje atlikus personalizuotą kalibravimą pirmą dieną BVT, %.....	37

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

BIS – bioimpedanso spektroskopija;

BVT – bendras vandens tūris (angl. *Total body water*);

IST – intraląstelinio skysčio tūris (angl. *Intracellular fluid*);

TST – tarpląstelinio skysčio tūris (angl. *Extracellular fluid*);

Terminai:

Edema – pabrinkimas, skysčio susikaupimas audiniuose, daugiausia tarpląstelinėje medžiagoje.

Diuretikai – šlapimą varantys vaistai, vaistų grupė. Diuretikai skatina šlapimo susidarymą inkstuose, mažina skysčių ir kai kurių druskų kiekį organizme.

Hiponatremija – natrio jonų sumažėjimas serume.

Vazopresinas – pagumburio gaminamas hormonas, kai žmogaus organizme sumažėja vandens kiekis. Jis verčia inkstus kaupti vandenį koncentruojant šlapimą ir mažinant išskiriamo šlapimo kiekį.

Hiperhidratacija – žmogaus kūno intoksikacija vandeniu (per didelis vandens kiekis kūne).

Išvadas

Vanduo sudaro 50 – 70 % žmogaus kūno masės ir yra terpė maistinių medžiagų pernašai, kuri leidžia vyksti įvairioms biocheminėms metabolizmo reakcijoms. Taip pat, vanduo reguliuoja kūno temperatūrą, kraujo tūrį ir spaudimą, veikia kaip sąnarių tepalas ir palaiko tinkamą kūno audinių struktūrą [1]. Dažnai sakoma, kad reikia išgerti tam tikrą puodelių skaičių vandens norint palaikyti tinkamą organizmo funkciją. Tačiau, rekomenduojamas išgerti, vandens kiekis yra individualus ir priklauso nuo daugelio dalykų – amžiaus, lyties, aktyvumo lygio ir klimato [2]. Priklausomai nuo šaltinio vidutiniškai moterims rekomenduojama suvartoti apie 2,7 l, o vyrams 3,7 l vandens per dieną.

Per mažas skysčių vartojimas yra opi problema ir dažna priežastis dėl ko žmonės patenka į ligoninę [3]. Remiantis statistikos duomenimis, nurodoma, kad 75 % JAV gyventojų yra dehidratavę [3]. Pagal JK hidratacijos fondo (angl. *The Hydration Foundation*) duomenis apie 21 žmogus kiekvieną dieną patenka į ligoninę dėl dehidratacijos. Per 2011 ir 2012 metus beveik 8000 žmonių pateko į ligoninę dėl per mažai suvartojamų skysčių, šis skaičius per sekančius 5 metus pakilo 18 %. Tam tikrų grupių žmonėms tinkamas kūno vandens skysčių balanso sekimas yra ypatingai svarbus, dėl specifiško darbo pobūdžio, darbo aplinkos ar klimato. Tokios grupės – ūkio sektoriaus darbuotojai, profesionalūs sportininkai, kariškiai, vyresni žmonės, inkstų ligomis sergantys žmonės. Paminėtina, kad vos 4 % vandens netekimas gali sumažinti fizinį darbingumą netgi 50 % [4]. Hidratacijos lygis dažniausiai apibrėžiamas kaip bendro kūno vandens kiekis procentais nuo kūno svorio. Įprastas, sveiko žmogaus, hidratacijos lygio svyravimas yra iki 2 % kūno svorio. Svarbu yra ne tik vandens sumažėjimas kūne, bet ir kūno vandens perteklius. Per didelis vandens kiekis kūne vadinamas intoksikacija vandeniu, kuri pasireiškia sutrikusiu elektrolitų balansu.

Galima sutikti aibę skirtingų tyrimų, skirtų įvertinti hidratacijos lygį, tačiau daugelis jų negali būti įgyvendinti dėvimuose prietaisuose ir dėl to netinka nuolatinei stebėsenai. „Auksinis standartas“ yra kraujo plazmos osmosiškumo tyrimas [5]. Tačiau šis ir daugelis kitų laboratorinių metodų yra invaziniai, todėl nors ir yra labai tikslūs, nėra patogūs, jei tyrimą reikia kartoti kelis kartus. Praktikoje vis dar naudojami labai subjektyvūs hidratacijos vertinimo metodai, kai žmogus pats nusako savo troškulio lygį arba įvardija balus pateiktoje skalėje [6]. Labiausiai paplitęs ir komerciniuose prietaisuose naudojamas kūno kompozicijos įvertinimo metodas yra bioimpedanso analizė. Bioimpedansas – tai neinvazinis ir greitas viso kūno tyrimas [7]. Šis metodas išsiskiria savo paprastumu ir leidžia įvertinti bendrą kūno vandens tūrį arba atskirų kūno dalių vandens tūrius taip suteikiant galimybę dar tiksliau įvertinti sveikatos būklę [8]. Bioimpedanso metodas hidratacijos lygio nustatymui remiasi biologinių audinių β dispersijos regionu. Per kūną leidžiama silpna kintama srovė, žemo dažnio srovė sklinda tarpląsteline erdve, o aukšto – tarpląsteline ir intraląsteline erdvėmis bendrai. Hidratacijos lygio įvertinimui skirtas, bioimpedanso metodo, algoritmas yra plačiai žinomas ir naudojamas daugelyje komercinių prietaisų. Šiame darbe, algoritmas pritaikytas atlikti matavimą tarp rankų.

Viena iš pagrindinių priežasčių kodėl kai kurie prietaisai ar metodai nėra tinkami naudoti nuolatiniame hidratacijos stebėjimui yra matavimo nepatogumas, kadangi matavimas atliekamas tarp kojos ir rankos, gulimoje pozicijoje. Šiame darbe pristatoma personalizuotos kalibracijos koncepcija. Šiuo atveju algoritmo architektūra išlieka beveik tokia pati, tačiau atsiranda papildomi kalibraciniai parametrai kurie nustatomi atlikus vienkartinį matavimą tarp rankos ir kojos, toliau matavimai gali būti atliekami tarp rankų.

Siekiant ištirti žmogaus hidratacijos vertinimo algoritmą, atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu surinktos dvi duomenų bazės. Matavimams atlikti buvo naudojamas atraminis prietaisas *SFB7* (Impedimed, Australija) ir sukurtas dėvimos sistemos prototipas. Pirmojo eksperimentinio tyrimo surinkta duomenų bazė, kuri naudojama ištirti sukurto hidratacijos vertinimo algoritmo tikslumą. Eksperimentiniame tyrime Nr. 1 dalyvavo dvidešimt du tiriamieji. Antrojo eksperimentinio tyrimo tikslas surinkti duomenų bazę, kuri naudojama ištirti sukurto hidratacijos vertinimo algoritmo tikslumą hidratacijos lygiui kintant laike (5 dienos). Eksperimentiniame tyrime Nr. 2 dalyvavo dvylika tiriamųjų. Tikslumui įvertinti ir palyginti su atraminiu prietaisu naudojamos *Bland – Altmano* ir stačiakampės diagramos. Sutarus su vadovu tiksli personalizuoto kalibravimo procedūra šiame darbe nėra atskleidžiama dėl Biomedicininės inžinerijos institute vykdomo projekto.

Šio darbo tikslas – sukurti ir ištirti, dėvimai sistemai skirtą, žmogaus hidratacijos pokyčių stebėsenos algoritmą.

Šio darbo uždaviniai:

1. sudaryti ir įgyvendinti žmogaus hidratacijos pokyčių stebėsenos eksperimentinių tyrimų metodologiją;
2. sukurti žmogaus hidratacijos pokyčių stebėsenos algoritmą ir ištirti algoritmo vienetinių matavimų tikslumą;
3. ištirti žmogaus hidratacijos lygio pokyčių stebėsenos algoritmo tikslumą ilgalaikėje perspektyvoje.

1. Literatūros analizė

Literatūros analizę sudaro temos aktualumas, dehidratacijos sąvokos supratimas, gilesnis žmogaus hidratacijos procesų paaiškinimas bei naudojami tyrimai. Tyrimai išskiriami į laboratorinius (t. y., biocheminius) ir kitus tyrimų metodus, kurie remiasi fizikiniais reiškiniais (t. y., optiniais, elektromagnetiniais ir elektriniais). Pateikiami rinkoje esantys ir praktikoje naudojami prietaisai, skirti nustatyti vandens kiekį žmogaus kūne. Skyriaus pabaigoje pateikiamos apibendrinančios išvados, lėmusios tolimesnę darbų eigą ir matavimo metodo pasirinkimą.

1.1. Aktualumas

Socialinėje erdvėje dažnai girdima, kad reikia išgerti tam tikrą litrų ar puodelių skaičių vandens norint palaikyti tinkamą organizmo funkciją, tačiau tikslus kiekis yra individualus ir gali kisti. Kiek kiekvienam žmogui reikia suvartoti vandens priklauso nuo daugybės veiksnių – amžiaus, lyties, aktyvumo lygio ir klimato [2]. Vidutiniškai moterims rekomenduojama suvartoti apie 2,7 l, o vyrams 3,7 l vandens. Paminėtina, kad apie 20 % šio vandens kiekio gaunama kartu su maistu [9]. Kituose šaltiniuose nurodoma, kad rekomenduojamas vandens kiekis vyrams ir moterims yra 2,5 l ir 2 l [10]. Tikėtina, kad pastarajame šaltinyje nurodytas rekomenduojamas išgerti gryno vandens kiekis neįskaitant skysčių suvartojamų kartu su maistu. Žmogus be maisto gali išgyventi pakankamai ilgą laiko tarpą, tačiau be vandens tik kelias dienas, nes 50 – 70 % žmogaus kūno masės sudaro vanduo. Smegenyse ši dalis dar didesnė ir siekia netgi 73 % [2]. Vanduo sudaro terpę maistinių medžiagų pernašai ir leidžia vykti įvairioms biocheminėms metabolizmo reakcijoms, be to, reguliuoja kūno temperatūrą, kraujo tūrį ir spaudimą, veikia kaip sąnarių tepalas ir palaiko tinkamą kūno audinių struktūrą [1].

Per mažas skysčių vartojimas yra opi problema ir dažna priežastis dėl ko žmonės patenka į ligoninę [3]. Nors problema aiški ir visiems žinoma, pastebimas statistinių duomenų trūkumas apie dehidratacijos pasiskirstymą populiacijoje, galimai dėl sudėtingo įvertinimo proceso, subjektyvumo ir mažo tinkamos įrangos prieinamumo. Nurodoma, kad 75 % JAV gyventojų yra dehidratavę [3]. Pagal hidratacijos fondo (angl. *The Hydration Foundation*) duomenis užsakytus iš Jungtinės Karalystės nacionalinio statistikos biuro (angl. *Office of National Statistics*) apie 21 žmogus kiekvieną dieną patenka į ligoninę dėl dehidratacijos. Per 2011 ir 2012 metus beveik 8000 žmonių pateko į ligoninę iš namų dėl per mažai suvartojamų skysčių, šis skaičius per sekančius 5 metus pakilo 18 %. Apie 20 % patekusių į ligoninę dėl dehidratacijos turėjo ūminį inkstų pažeidimą [11].

Tam tikrų grupių žmonėms tinkamas kūno vandens skysčių balansas yra ypatingai svarbus, dėl specifiško darbo pobūdžio, darbo aplinkos ar klimato, tai ūkio sektoriaus darbuotojai, profesionalūs sportininkai, kariškiai, vyresni žmonės, inkstų ligomis sergantys žmonės. Darbuotojai statybų, ūkio ir kituose fizinio darbo sektoriuose patenka į rizikos grupę, dėl įtempto fizinio darbo, padidėjusios darbo aplinkos temperatūros. Vos 4 % vandens netekimas gali sumažinti fizinį darbingumą netgi 50 % [4]. Todėl siekiant užtikrinti tinkamus darbo rezultatus ir norint išvengti šilumos smūgio privaloma užtikrinti tinkamą suvartojamo skysčio kiekį. Profesionalūs sportininkai dažnai susiduria su šia problema, dėl padidėjusio prakaitavimo ir treniravimosi karštame klimate, su prakaitu pasišalinusio vandens kiekis gali siekti nuo 1 l iki 2 l per valandą. Intensyvių treniruočių metu, dėl atsako į troškulio pojūtį, išgerto vandens kiekis nėra pakankamas atstatyti skysčių balansą, pažymėtina, kad pasisavinamo vandens kiekis gali siekti tik 1,2 – 1,5 l/h [7]. Kariniai mokymai dažnai būna tiek fiziškai tiek psichologiškai intensyvūs, o kariškiai turi ribotas vandens atsargas, kurias gali turėti su

savimi tam tikrų operacijų metu. Šilumos smūgio ir išsekimo prevencijai JAV įvedė specialias programas skirtas aklimatizacijai, skysčių ir elektrolitų balanso užtikrinimui [12]. Vyresni žmonės dažnai nejaučia troškulio, turi sumažėjusį kūno skysčių rezervą. Sumažėjęs skysčių kiekis gali būti susijęs su tam tikrų vaistų vartojimu (pvz., diuretikai) ar kitomis ligomis (pvz., ūminės inkstų ligos) [7]. Žmonių sergančių lėtinėmis inkstų ligomis pasaulyje vis daugėja. Vienas iš skiriamų gydymo metodų yra hemodializė. Nustatyta, kad pasaulio mastu hemodializė paskirta daugiau nei 2,6 milijono žmonių [13]. Netinkamas skysčių balansas, hemodializės pacientams, išlieka svarbiausiu veiksniumi vertinant mirtingumą ir sergamumą pagal širdies ir kraujagyslių ligas [14]. Skysčių kiekio stebėjimas nemažiau svarbus ir širdies nepakankamumą turintiems žmonėms, tokių pacientų vien JAV yra apie 5 milijonus [15]. Žmogaus filtravimo sistema (t. y., inkstai) aptikusi sumažėjusią kraujo tėkmę, dėl širdies nepakankamumo, aktyvuoja hormonus skatinančius žmogaus kūną užlaikyti skysčius taip siekiant pakelti kraujo tūrį, taip susidaro skysčių perteklius [16].

1.2. Hidratacijos lygis

Hidratacijos lygis dažniausiai apibrėžiamas kaip bendras kūno vandens kiekis procentais nuo kūno svorio. Įprastas, sveiko žmogaus, hidratacijos lygio svyravimas yra iki 2 % kūno svorio. Todėl klinikinės reikšmės hipohidratacija laikoma kada nustatomas daugiau nei 2 % (~3 % BVT) kūno masės deficitas dėl prarasto vandens kiekio [17]. Paminėtina, kad svarbu yra ne tik vandens sumažėjimas kūne, bet ir kūno vandens perteklius. Per didelis vandens kiekis kūne vadinamas intoksikacija vandeniu, kuomet sutrinka elektrolitų balansas ir yra diagnozuojama hiponatremija (natrio jonų sumažėjimas serume). Dažniausiai per didelis vandens kiekis kūne nustatomas, kai sutrikusi normali kūno funkcija šalinti vandens perteklių (pvz., išsiskiriant pertekliniam vazopresinui, sergant širdies ir inkstų ligomis.) [18]. Per didelis vandens kiekis kūne – retai sutinkamas reiškinys, pasireiškiantis tik esant tam tikroms patologijoms (pvz., širdies ir inkstų ligomis sergantiems žmonėms) [19]. Dėl šios priežasties dažniausiai koncentruojamasi į sumažėjusio vandens kiekio diagnostiką. Dehidratacija yra apibrėžiama kaip kūno vandens sumažėjimas ir yra skirstoma į tris grupes [20]:

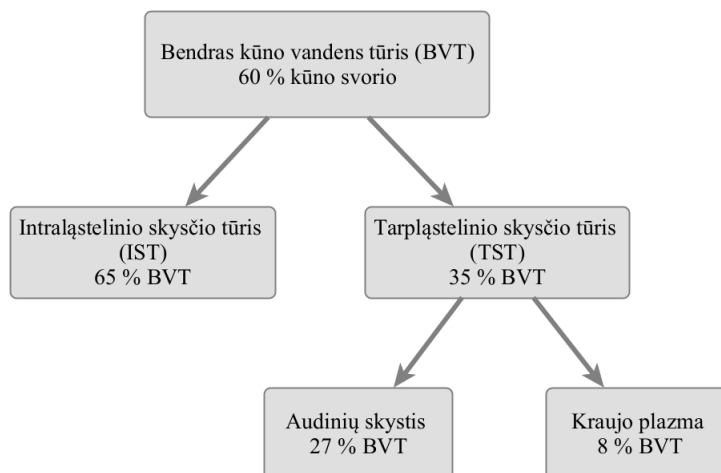
- Lengva dehidratacija (>1–5 %);
- Vidutinė dehidratacija (>5–10 %);
- Sunki dehidratacija (>10 %).

Siekiant suprasti dehidratacijos procesus žmogaus kūne, analizuojami intraląstelinio ir tarpląstelinio tūrio pokyčiai. Skiriamos trys dehidratacijos rūšys nuo kurių priklauso skirtingi gydymo metodai [21]:

- Hipertoninė dehidratacija – tai dažniausiai sutinkama dehidratacijos rūšis kuri išsivysto dėl per mažo suvartojamų skysčių kiekio, didelio prakaitavimo ar vėmimo;
- Hipotoninė dehidratacija – arba kitaip tariant druskų praradimas, tokia dehidratacijos forma gali išsivystyti naudojant diuretikus (skatinama šlapimo gamyba inkstuose);
- Izotoninė dehidratacija – tai dehidratacija kuomet tiek druskų tiek vandens praradimas yra proporcingas (pavyzdžiui viduriavimo atveju).

Vanduo, sudarydamas 50–70 % žmogaus kūno, yra pasiskirstęs netolygiai. Pirmame paveiksle pateikiamas apytikslis vandens pasiskirstymas kūne [7]. Vienodas balansas yra palaikomas dėl sudėtingų homeostazinių procesų. Žinant tokį skysčių pasiskirstymą galima lengviau suprasti tam

tikrus skysčių reguliavimo procesus (pvz., hipertoninės dehidracijos metu dėl osmoso vanduo traukiamas iš intraląstelinės erdvės į ląstelių išorę, taip sukeliant ląstelių dehidratavimą ir susitraukimą) [21].



1 pav. Vandens pasiskirstymas kūne

Vandens pasiskirstymas kūne priklauso nuo lyties, amžiaus ir kūno sudėjimo [22]. Žmogus su didesne raumenine mase turės didesnį vandens kiekį ir priešingai žmogus su didesne riebalų mase turės mažesnį vandens kiekį, nes riebalus sudaro tik 11 % vandens, o raumenis – 75 % [22]. Remiantis tyrimais normalus vandens lygis organizme yra 60–70 % vyrams ir 50–55 % moterims [23].

1.3. Hidratacijos vertinimo metodai

Egzistuoja nemažai tyrimų, skirtų įvertinti hidratacijos lygį, tačiau daugelis iš jų negali būti įgyvendinti dėvimuose prietaisuose ir dėl to netinka nuolatinei stebėsenai. Pats tiksliausias hidratacijos įvertinimo tyrimas („auksinis standartas“) yra kraujo plazmos osmosiškumo tyrimas [5]. Tačiau šis ir daugelis kitų laboratorinių metodų yra invaziniai, todėl nors ir yra labai tikslūs, nėra patogūs, jei tyrimą reikia kartoti kelis kartus. Kartais praktikoje vis dar naudojami labai subjektyvūs hidratacijos vertinimo metodai, kai žmogus pats nusako savo troškulio lygį arba įvardija balus pateiktoje skalėje [6].

1.3.1. Laboratoriniai tyrimai

Kraujo tyrimai yra tikslūs ir informatyvūs, tačiau invaziniai. Analizuojant kraujo mėginį galima nustatyti netgi keletą skirtingų parametrų susijusių su bendra žmogaus kūno hidratacija – plazmos osmosiškumą, elektrolitų koncentraciją ar hemoglobino/hematokrito lygius [23]. Kraujo analizės metodai nėra jautrūs mažiems hidratacijos lygio pokyčiams (< 3 %), tikėtina dėl to, kad žmogaus kūnas kaip įmanoma ilgiau bando išlaikyti tinkamą kraujo cheminę sudėtį [7]. Kraujo analizės metodai tinkami tik hipertoninės dehidracijos diagnostikai, kadangi kitos dehidracijos rūšys nekeičia kraujo cheminės sudėties. Kraujo plazmos osmosiškumo tyrimas laikomas klinikinio standartu [24].

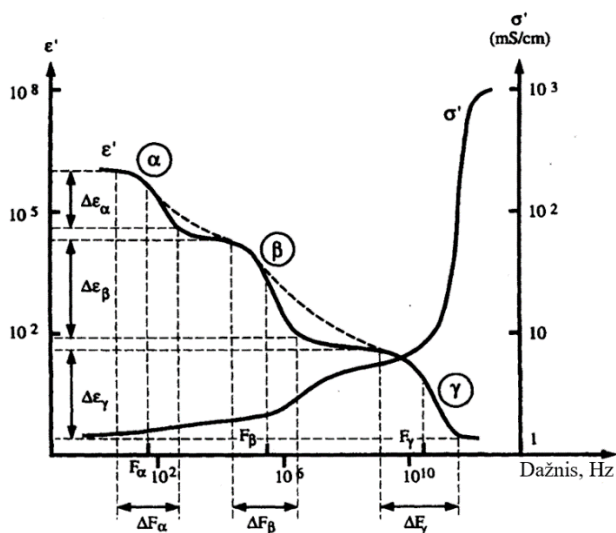
Didesniu jautrumu pasižymi šlapimo analizė [25]. Kaip ir kraujo tyrimuose, šlapimo tyrimuose gali būti vertinami keli parametrai – spalva, osmosiškumas, laidumas ir šlapimo santykinis tankis [26]. Nors pats tyrimas yra paprastas ir greitas, jis nėra tinkamas įvertinti greitus hidratacijos pokyčius dėl

inertiškų fiziologinių procesų. Šlapimo analizės tyrimai yra jautrūs dažniam maistui, kai kuriems vaistams ir nėra tinkami sergant tam tikromis ligomis (pvz., gelta) [7].

Žinomi cheminiai metodai – prakaito ir seilių analizė. Nustatyta, kad žmogaus kūno hidratacijos lygis gali būti įvertintas jutikliais, gebančiais matuoti natrio jonų koncentraciją prakaitu. Mokslininkų grupė [27] pristatė pleistrą, kurio pagrindas, lanksti spausdintinė plokštė atliekanti jutiklio funkciją. Nors autoriai teigia, kad jų sukurtas pleistras gali nustatyti natrio jonų pokyčius, atliktų klinikinių tyrimų nėra [7]. Toks tyrimas yra paprastas ir pigus, tačiau gali būti naudojamas tik prakaituojant, taip pat prakaitavimo intensyvumas yra individualus dalykas, o tai gali atsiliepti šio tyrimo tikslumui. Seilių tyrimai, taip pat gali būti naudojami hidratacijos lygio nustatymui realiu laiku. Šiuo atveju vertinama proteinų koncentracija ir seilių osmosiškumas [28]. Šio tyrimo trūkumas – negalima atlikti vertinimo kurį laiką po valgymo ar skysčių vartojimo. Cheminiai tyrimai pasižymi savo paprastumu ir pigumu, tačiau neatsižvelgia į bazinius žmonių skirtumus, todėl gali būti netikslūs [7].

1.3.2. Bioimpedansas

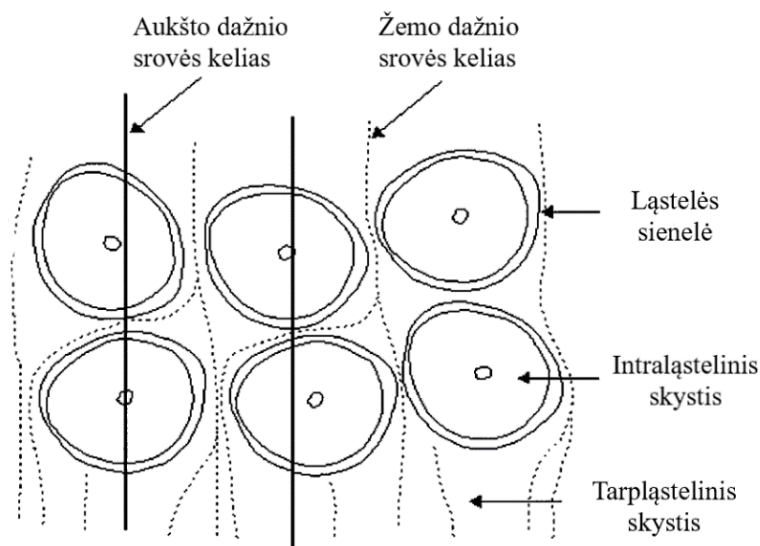
Bioimpedansas – tai neinvazinis ir greitas viso kūno tyrimas [7]. Šio tipo tyrimas labiausiai paplitęs tiriant kūno kompoziciją ir dažniausiai naudojamas komerciniuose prietaisuose. Metodus išsiskiria savo paprastumu ir greitumu, bei leidžia įvertinti bendrą kūno vandens tūrį arba atskirų kūno dalių vandens tūrius taip suteikiant galimybę dar tiksliau įvertinti sveikatos būklę ir nustatyti tokias patologijas kaip edema [8]. Egzistuoja keletas šio tyrimo variacijų, tačiau visos remiasi tuo pačiu veikimo principu – per kūną leidžiama silpna kintama srovė ir matuojamas impedansas (kompleksinė varža). Nustatyti trys biologinių audinių dielektrinės konstantos dispersijos regionai (2 pav.). Dideli dispersijos regionai nuo 10 Hz iki dešimčių MHz (α ir β regionai) yra susiję su jonų difuziniais procesais (α regionas) ir su dielektrinėmis ląstelių sienelių savybėmis (β regionas). Bioimpedanso matavimai dažniausiai remiasi β regiono dispersija ir yra atliekami 100 Hz – 10 MHz ribose [29].



2 pav. Biologinių audinių dielektrinės konstantos dispersijos regionai [29]

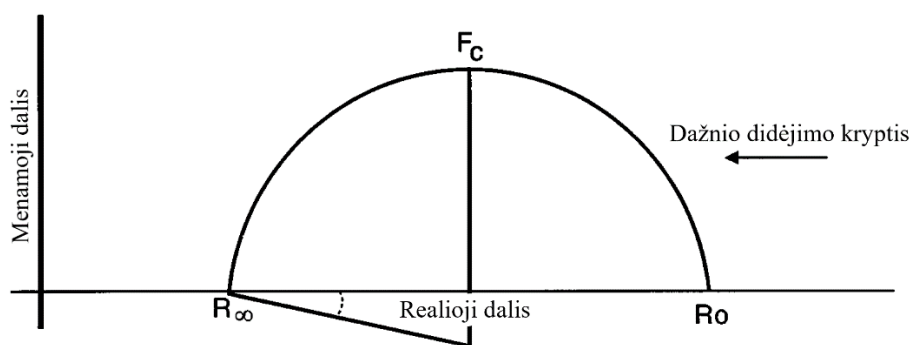
Tarpląstelinis skystis yra elektrolitas, pagrinde sudarytas iš Na^+ (~140 mM) ir Cl^- (~100 mM) jonų, todėl elektrinis laidumas priklauso nuo šių cheminių elementų koncentracijos ir pasiskirstymo. Paminėtina, kad temperatūra stipriai keičia joninį laidumą – didėjant temperatūrai tirpalo klampumas mažėja, jonų judėjimas greitėja, todėl bendra tirpalo varža mažėja [29]. Intraląstelinio skysčio sudėtis yra panaši, tačiau skiriasi koncentracija. Taip pat reali vidinė ląstelės struktūra yra nenagrinėjama ir

laikoma, kad vidinė ląstelės dalis yra tiesiog atskiras laidininkas. Ląstelės sienelė atlieka keletą funkcijų – yra skiriamoji riba tarp ląstelės vidaus ir išorės (pasyvu) ir užtikrina medžiagų apykaitą ląstelėse (aktyvu). Ląstelės sienelė sudaryta iš dvigubo lipidų sluoksnio kuris nėra laidus jonams. Ląstelės sienelės elektrinis laidumas yra ypatingai mažas, todėl sienelė laikoma dielektriku. Esant dielektrikui tarp dviejų laidininkų šiuo atveju susidaro talpinis elementas. Žinoma, kad žemo dažnio srovė sklinda per tarpląstelinę erdvę, o aukšto dažnio per intraląstelinę ir tarpląstelinę erdves bendrai (3 pav.) [29].



3 pav. Kintamos srovės kelias žmogaus kūne [30]

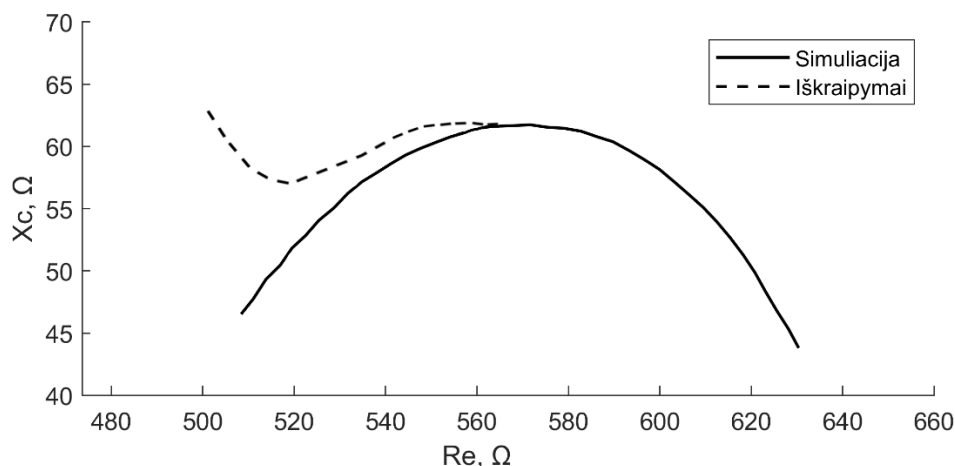
Atlikus bioimpedanso matavimą užregistruojamas kompleksinės varžos modulis ir fazės kampas. Toliau apskaičiuojamas bioimpedansas – realioji ir menamoji dalys. Realioji ir menamoji dalys atvaizduojamos Cole–Cole diagramoje dar žinomoje kaip Naikvisto diagrama (4 pav.) [29]. Diagramos arka reprezentuoja terpės dispersijos regioną (perėjimas iš vienos stabilios impedanso vertės esant žemam dažniui prie kitos stabilios vertės esant aukštam dažniui).



4 pav. Cole–Cole (Naikvisto) diagrama [30]

Nustatyta, kad šis metodas yra ypač jautrus tokiems veiksniams kaip prakaitas, prastas elektrodų kontaktas, kūno temperatūra ir kūno pozicija [5]. Geriausi rezultatai pasiekiami laikantis vienodų matavimo sąlygų ir atlikus tinkamus antropometrinius matavimus [23]. Egzistuoja keletas skirtingų bioimpedanso matavimo metodų – vieno dažnio (50 kHz), keletos skirtingų dažnių (pvz., 50, 100, 500 kHz) ir matuojant tam tikrą dažnių spektrą (pvz., 3–1000 kHz) [31].

Dažnai, atliekant BIS matavimus susiduriama su specifiniais iškraipymais, kurie signalui suteikia „kabliuko“ formą (angl. *Hook effect*). Šie iškraipymai atsiranda dėl susidariusių parazitinių talpų. Tipinis tokio efekto pavyzdys pateiktas 5 paveiksle. Galima pastebėti kaip stipriai skiriasi matuojamos grandinės modelis ir koks gaunamas rezultatas. Dažniausiai šis efektas didėja kylant matavimo dažniui ir daugiausia iškraipymų sudaro aukštesniame dažnių ruože, tačiau taip pat pasitaiko atvejų kai iškraipymai pastebimi ir žemesniuose dažniuose. Iškraipymams pašalinti dažniausiai naudojama vėlinimo korekcija (angl. *Time delay (T_d) compensation*). Šio metodo esmė yra $Z_{išmatuotų}(\omega)$ duomenų padauginimas iš kompleksinės eksponentės $e^{j\omega T_d}$.



5 pav. BIS duomenų iškraipymai esant parazitinei talpai

Manoma, kad įprasta korekcija nėra pats geriausias metodas. „Kabliuko“ efektas sukelia ne tik bioimpedanso fazės iškraipymus, bet ir modulio, todėl padauginimas iš vieno skaliarinio dydžio negali pilnai kompensuoti šio efekto. Šiuo atveju siūlomas iteracinis metodas, kur T_d vertė yra kompleksinė ir dažnio funkcija, o ne skaliarinis dydis [44]. Šis metodas pilnai pašalina visus parazitinių talpų sukeltus iškraipymus. Tačiau, šio metodo trūkumas – reikalingas labai aukštas dažnis. Kaip teigia metodo autoriai, idealiu atveju, reikėtų duomenų per visą dažnių spektrą iki begalybės, tačiau to padaryti neįmanoma, todėl rekomenduojama matuoti iki 600 kHz ar 1 MHz ribos [44].

1.3.3. Kiti tyrimai

Galima pastebėti didėjančią optiniais prietaisais besiremiančių tyrimų skaičių. Šie tyrimai remiasi šviesos sugertimi ir išsiskaidymu odoje. Nustatyta, kad artima NIR spinduliuotė apie 1950 nm yra jautri audinio vandens kiekio variacijoms odos paviršiuje [7]. NIRS leidžia užregistruoti vandens pokyčius odoje ir yra neinvazinis bei visiškai saugus metodas. Tačiau persidengiantys spektrai apriboja šio metodo įgyvendinimą – NIR šviesos spektre yra ir kitų terpių, kurios sugeria šviesą ir gali iškraipyti duomenis. Taip pat šis metodas nėra atsparus temperatūros pokyčiams, kylant ar leidžiantis temperatūrai keičiasi sugerties maksimumai. Paminėtina, kad vienas iš didžiausių sunkumų – rasti vieno dažnio (pvz., 1950 nm) šviesos diodą, kadangi naudoti visą dažnių spektrą yra nepraktiška ir reikalauja turėti spektrometrą [32].

Tokios biologinių audinių fizikinės savybės kaip dielektrinė skvarba ir elektrinis laidumas radijo bangų dažnių ruože stipriai priklauso nuo vandens ir jonų koncentracijos. Todėl tokios terpės kaip kraujas ir raumenų audiniai pasižymi didele vandens koncentracija ir turi sąlyginai didelę dielektrinę skvarbą ir laidumą, lyginant su kaulais ir kūno riebalais [7]. Toks metodas nėra invazinis ir yra

sąlyginai paprastas, todėl dažnai matomas kaip potencialus metodas kūno hidratacijai vertinti. Tačiau rinkoje tokiu principu veikiančių prietaisų yra nedaug ir dažniausiai jie naudojami odos hidratacijai tirti [33].

1.4. Hidratacijos vertinimo sistemos

Pastaruoju metu galima pastebėti vis didėjančią, hidratacijai vertinti skirtų prietaisų, pasiūlą. Tai iš dalies lėmė ir technologijų plėtra, ir žmonių sąmoningumo didėjimas sveikatos požiūriu. Pateikiami rinkoje esantys profesionalūs ir dėvimi prietaisai, skirti hidratacijos lygio įvertinimui ir sekimui.

Klinikiniams tyrimams skirti prietaisai

Prietaisas *MoistureMeterD* (*Delfin Technologies*, JAV) (6 pav. a)) skirtas biologinių audinių hidratacijos lygiui tirti. Prietaisas pagrįstas odos ir gilesnių odos sluoksnių dielektrinės konstantos matavimu neinvaziniu ir greitu būdu. Gamintojas teigia, kad efektyvus ir pasiekiamas matavimo gylis nuo 0,5 mm iki 5 mm [34]. Didėjant dielektrinei konstantai didėja vandens kiekis audiniuose ir didėja edemos rizika. Šio prietaiso kaina nėra nurodyta.

Prietaisas *Sozo* (*ImpediMed*, Australija) (6 pav. b)) – pažangiausias ir naujausias, skirtas naudoti medicinoje ir moksliniams tyrimams. Matavimas atliekamas 3 kHz – 1 MHz dažnių ruože, užfiksuojant 256 taškus. Matavimas užtrunka iki 30 s. Gali būti naudojamas antrinės limfedemos diagnozavimui [35]. Matuoja nemažai naudingų parametrų: L-Dex, IST, TST, BVT, riebalinę masę, skeleto raumenų masę, bazinį metabolizmo greitį. Kaina ~10000 Eur (žiūrėta 2023-04-14 impedimed.com).

Prietaisas *Biody Xpert ZM* (*eBIODY*, Prancūzija), (6 pav. c)) – rankinis BIA analizatorius skirtas kūno kompozicijos matavimams. Naudojami keturi elektrodai, o matavimas atliekamas naudojant tam tikrus dažnius (5, 20, 50, 100 ir 200 kHz) [36]. Atlikus matavimą ataskaita pateikiama išmaniajame telefone arba kompiuteryje. Kaina 2490 Eur (žiūrėta 2023-04-14 ebiody-store.com).



6 pav. Profesionalūs prietaisai. Modeliai: *MoistureMeterD* (a), *Sozo* (b), *Biody* (c)

Kūno kompozicijos svarstyklės

Dažnai, hidratacijai sekti, naudojamos buitinės kūno kompozicijos svarstyklės (pvz., *Body+* (*Withings*, Prancūzija), *HBF-375* (*Omron*, Japonija)). Tokios svarstyklės naudoja bioimpedanso spektroskopiją arba kelių dažnių bioimpedanso analizę. Gali būti naudojama vandens kiekiui matuoti, riebalų ir raumenų masei nustatyti. Didžiausias šios grupės prietaisų privalumas – maža kaina (*Body+* 99 Eur, *Omron HBF-375* 135 Eur žiūrėta 2023.04.14 Amazon.com). Pirmųjų svarstyklių (7 pav. a)) privalumas, galimybė sekti rezultatus išmaniajame telefone, antrųjų svarstyklių (7 pav. b)) – didesnis tikslumas, kadangi matuojami atskiri kūno segmentai, šios svarstyklės turi aštuonis elektrodus, tuo tarpu pirmosios tik keturis [37], [38].



7 pav. Kūno kompozicijos svarstyklės. Modeliai: *Withings Body+* (a), *Omron HBF-375* (b)

Dėvimi hidratacijos vertinimo prietaisai

Dėvimas prietaisas *hDrop* (*hDrop Technologies Inc.*, JAV) (8 pav. a)), skirtas atlikti elektrolitų koncentracijos ir kūno hidratacijos lygio įvertinimą. Dėvimas ant žasto ir turi belaidį ryšį, todėl duomenis galima sinchronizuoti su išmaniuoju įrenginiu. Veikimo principas pagrįstas bioimpedanso matavimu [39]. Kaina 145 Eur (žiūrėta 2023.04.14 hdroptech.com).

Dėvimas prietaisas *AuraStrap 2* (*Aura Devices*, JAV), (8 pav. b)) – antroji „Apple“ išmaniajam laikrodžiui skirtos apyrankės (dirželio) versija. Ši apyrankė tvirtinasi vietoje įprasto laikrodžio dirželio ir papildo laikrodį nauja funkcija. Pats prietaisas yra įmontuotas apyrankėje kartu su elektrodais. Toks priedas taip pat veikia bioimpedanso spektroskopijos metodu ir geba matuoti kūno kompoziciją, vertinti hidratacijos lygį ir teikti personalizuotą ataskaitą [40]. Kaina šiuo metu siekia 135 Eur (žiūrėta 2023.04.14 auradevices.io).

Dėvimas prietaisas *Samsung Galaxy watch 5* (*Samsung*, Pietų Korėja) (8 pav. c)) – išmanusis laikrodis, gebantis atlikti kūno kompozicijos matavimą. Tai antrasis Samsung gamintojo išmanusis laikrodis gebantis atlikti bioimpedanso matavimus. Matavimo elektrodai yra apatinėje laikrodžio korpuso dalyje ir šoniniuose mygtukuose, kuriuos reikia priliesti kitos rankos pirštais norint sukurti uždara grandinę, reikalingą atlikti matavimui [41]. Šio laikrodžio kaina 329 Eur (žiūrėta 2023.04.14 topocentras.lt).



8 pav. Dėvimi prietaisai. Modeliai: *hDrop* (a), *AuraStrap 2* (b), *Galaxy watch 5* (c)

1.5. Skyriaus išvados

Apibendrinant, hidratacijos lygio sekimas yra ypatingai svarbus ir aktualus daugeliui žmonių. Įprasti metodai nėra tinkami greitam ir nuolatiniam hidratacijos lygio įvertinimui. Laboratoriniai metodai yra invaziniai, sudėtingi ir brangūs. Cheminiai jutikliai nors ir patogūs reikalauja papildomų tyrimų ir yra jautrūs individualioms žmonių savybėms, bei negali būti naudojami iškart po valgio ar suvartotų skysčių. Optiniai metodai pasižymi savo paprastumu ir neinvaziškumu, bet vis dar nėra plačiai naudojami hidratacijos vertinimui dėl mažos skvarbos į žmogaus kūno audinius, todėl tinkami tik odos hidratacijai vertinti. Sąryšis tarp bendros kūno hidratacijos ir odos nėra nustatytas ar tiksliai apibrėžtas. Elektromagnetiniai metodai yra patogūs, sąlyginai paprasti ir nejautrūs suvartotam maistui ar skysčiams, tačiau, tinkami tik labai ūmiems hidratacijos lygio pokyčiams aptikti, taip pat laisvų kūno skysčių pasiskirstymas ar kūno pozicija gali užgožti bendro kūno vandens lygio pokyčius. Todėl didžioji dalis prietaisų remiasi BIS tyrimu. Toks tyrimas yra pigus, paprastas ir greitas, tačiau jautrus kūno temperatūrai, kūno pozicijai ir elektrodų kontaktui.

Šiuo metu profesionalūs klinikinėje praktikoje naudojami prietaisai, nėra patogūs ir negali būti naudojami nuolatinei stebėsenai. Matavimas dažniausiai atliekamas gulimoje pozicijoje, tarp rankų ir kojų, naudojant vienkartinius gelinius elektrodus. Namuose naudojamos kūno kompozicijos svarstyklės nėra tinkamos ir pakankamai tikslios nuolatiniai hidratacijos lygio stebėsenai, už namų ribų. Daugelis šių problemų gali būti sprendžiamos naudojant dėvimus prietaisus (pvz., išmaniuosius laikrodžius). Svarbu, kad matavimo procedūra būtų standartizuota, o kūno pozicija patogi ir tinkama. Tyrimo publikuoto JAV klinikinės mitybos žurnale (angl. *The American Journal of Clinical Nutrition*) pateikiama išvada – dabartiniai išmanieji laikrodžiai gebantys vykdyti BIS matavimą gali atlikti stabilius matavimus, tačiau jų tikslumas yra mažesnis už laboratorinius metodus, paminėtina, kad šių prietaisų privalumas – tai matavimai už laboratorijos ribų, geografiškai nutolusiose vietose, treniruočių metu, namuose, nereikalaujant gulimos pozicijos ir matavimui naudojant tik rankas [42]. Tačiau, rinkoje esantys dėvimi prietaisai nėra kliniškai patvirtinti ir negali būti naudojami medicininės diagnostikos tikslais [32]. Tai rodo, kliniškai patvirtintos ir tikslūs matavimus gebančios atlikti, dėvimos sistemos poreikį.

2. Metodologija

Šiame skyriuje pateikiama darbo metu naudota įranga ir jos aprašymas, atliktas eksperimentinis tyrimas ir užregistruota duomenų bazė, pristatomas bazinis ir patobulintas hidratacijos lygio vertinimo algoritmas.

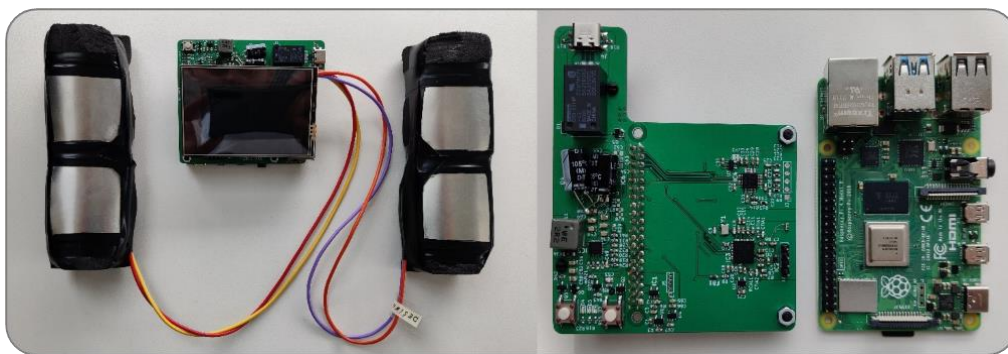
2.1. Matavimų platforma

Matavimams atlikti buvo naudojamas atraminis prietaisas *SFB7 (Impedimed, Australija)* ir sukurtas dėvimos sistemos prototipas. Prototipo tikslumui įvertinti ir palyginti su atraminiu prietaisu panaudota elektrinė grandinė kurios konfigūracija imituoja elektrinį žmogaus kūno modelį.

2.1.1. Dėvimos sistemos prototipas

Suprojektuoto sistemos prototipo vaizdas pateikiamas 9 paveiksle (a). Prototipą sudaro suprojektuotas bioimpedanso registravimo modulis (9 pav. (b)) ir mikrokompiuteris *Raspberry Pi 4B (Raspberry Pi Foundation, Jungtinė Karalystė)* (9 pav. (c)). Bioimpedanso registravimo modulis suprojektuotas taip, kad būtų galima lengvai sujungti su mikrokompiuteriu panaudojant esamus išvadus ir jungtis. Prototipas turi nepriklausomą maitinimo šaltinį, kuris naudojamas atliekant matavimą (išorinis maitinimas visiškai atjungiamas nuo matavimo grandinės), taip užtikrinant saugumą matavimo metu. Šiame prototipe naudojamas, žmogaus kūno bioimpedanso matavimams skirtas, mikrograndynas – *AD5941 (Analog Devices, JAV)*. Dėvimos sistemos prototipas yra Lietuvos mokslo tarybos (LMT) praktikos dalis (žr. Priedas 2), kurios metu pagrindinė užduotis buvo įgyvendinti hidratacijos vertinimo algoritmą „Python“ programavimo kalba, aparatinė dalis buvo projektuojama ir kuriama kartu su komanda, todėl tai nėra pagrindinė šio darbo dalis. Šios sistemos parametrai:

- Matavimo srovė iki 100 μA (gali būti keičiama programiškai);
- Dažnių ruožas 10 kHz – 180 kHz;
- Matuojamų taškų kiekis 10 – 40 (gali būti praplečiamas);
- Elektrodo paviršiaus plotas 16 cm^2 (bendras elektrodų plotas 64 cm^2);
- Matavimas trunka 1-4 s (priklausomai nuo matuojamų taškų kiekio).



9 pav. Eksperimentinės įrangos prototipas (a), suprojektuotas bioimpedanso registravimo modulis (b) ir mikrokompiuteris *Raspberry Pi* (c)

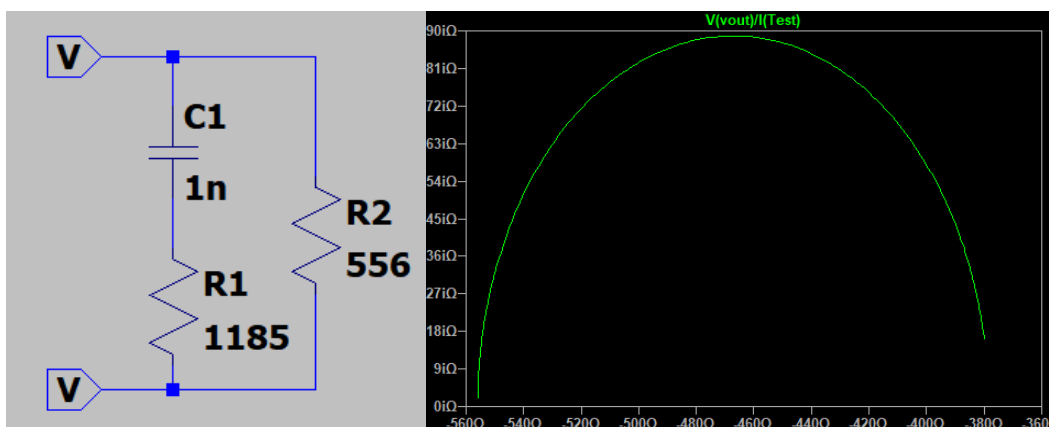
Siekiant ištirti elektrodų prispaudimo jėgos įtaką bioimpedanso matavimams, pasirinkti du rankiniai dinamometrai *SS25LL (Biopac, JAV)* ir signalų registravimo sistema *MP35 (Biopac, JAV)*. Prie

kiekvieno iš dinamometrų pritaisyti du elektrodai iš nerūdijančio plieno. Eksperimento metu naudota įranga pavaizduota 10 paveiksle.



10 pav. Eksperimente naudota signalų registravimo sistema ir rankiniai dinamometrai su pritvirtintais elektrodais

Dėvimos sistemos tikslumui įvertinti naudojama elektrinė grandinė (paveikslas 11 (a)) sudaryta iš dviejų varžų ($R1=1185\ \Omega$, $R2=556\ \Omega$) ir kondensatoriaus ($C1=1\ nF$). Tokios elektrinės grandinės simuliacija pateikta 11 paveiksle (b). Kaip matoma, simuliacijos duomenys atitinka Cole–Cole modelį sutinkamą praktikoje, todėl tokia matavimo schema atitinka impedanso režius, kurie sutinkami atliekant realius matavimus su pacientais. Tokios matavimo grandinės privalumas, kad pašalinami subjektyvūs reiškiniai, kaip tinkamas žmogaus elektrodų laikymas, kūno pozicija, skysčių persiskirstymas, odos temperatūra ir drėgmė.



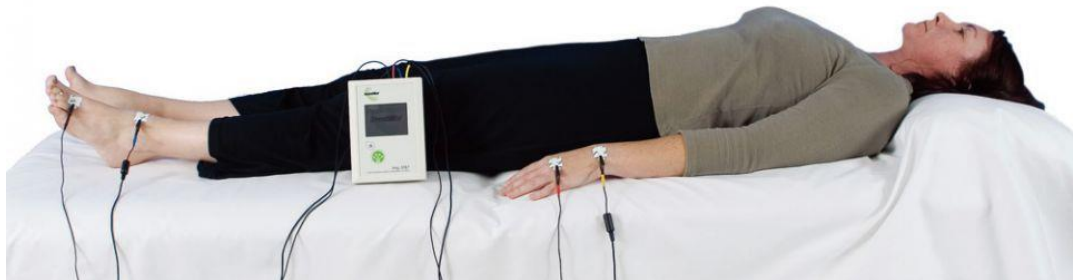
11 pav. Prototipo testavimo metu naudota elektrinė grandinė (a) ir jos Cole–Cole (Naikvisto) diagrama atitinkanti žmogaus kūno modelį (b)

2.1.2. Atraminis prietaisas

Tyrimams atlikti pasirinktas profesionalus prietaisas *SFB7 (Impedimed, Australija)* skirtas atlikti mokslinius tyrimus bioimpedanso srityje. Prietaisas ir tyrimo imitacija pavaizduoti 12 paveiksle. Šis prietaisas atlieka bioimpedanso spektroskopiją nuo 3 kHz iki 1 MHz užfiksudamas 256 taškus vos per 1 sekundę. Matavimams naudojami keturi geliniai elektrodai, kurie pozicionuojami vienoje kūno pusėje ir klijuojami ant viršutinės pėdos dalies ir viršutinės plaštakos dalies. Panaudojant Cole–Cole

modeliavimą ir Hanai teoremą apskaičiuojamas bendras kūno vandens tūris, tarpląstelinio ir intraląstelinio skysčių tūriai. Gali būti nurodoma riebalinė ir liesa kūno masė [43]. Rezultatai pateikiami pačio prietaiso ekrane todėl nereikalauja išorinio apdorojimo ar papildomos įrangos. Norint atlikti gilesnę rezultatų analizę gamintojas siūlo savo programinę įrangą, kurioje galima gautų duomenų peržiūra, apdorojimas, galimybė keisti tam tikras konstantas, peržiūrėti sudėtingesnius rezultatų parametrus ir diagramas (Cole–Cole ir Bode diagramos). Didžiausias šio prietaiso privalumas, kad gamintojas suteikia prieigą prie pačių matavimo duomenų, kuriuos galima atsisiųsti ir apdoroti atskirai. Paminėtina, kad matavimo procedūra yra standartizuota ir griežtai apibrėžta:

- Pašalinami visi papuošalai;
- Tyrimas atliekamas esant tuščiai šlapimo pūslei;
- Antropometriniai matavimai atlikti pagal standartus (ūgis 0,5 cm, o svoris 0,1 kg tikslumu);
- Gulimoje pozicijoje privaloma išbūti 5 minutes;
- Rankos ir kojos negali liesti metalinių konstrukcijų;
- Rankos ir kojos turi būti ištiesios ir negali liesti kitų kūno dalių.



12pav. Tyrimams skirtas atraminis prietaisas *SFB7 (Impedimed, Australija)* ir standartinio tyrimo metu naudojamos elektrodų klijavimo vietos bei matavimo pozicija [43]

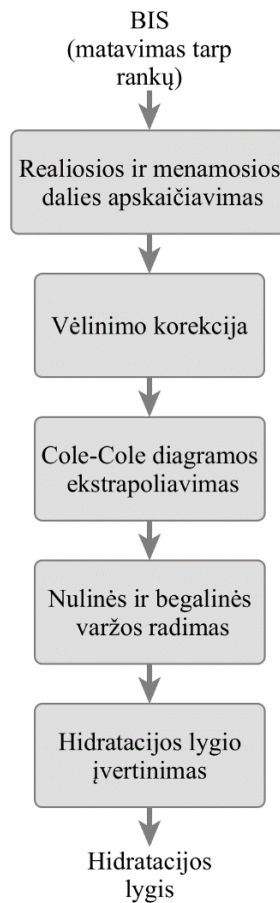
2.2. Hidratacijos lygio pokyčių vertinimo algoritmo struktūra

Pateikiama bazinio algoritmo struktūra ir personalizuotos kalibracijos algoritmo veikimo principas bei jo struktūra.

2.2.1. Bazinis algoritmas

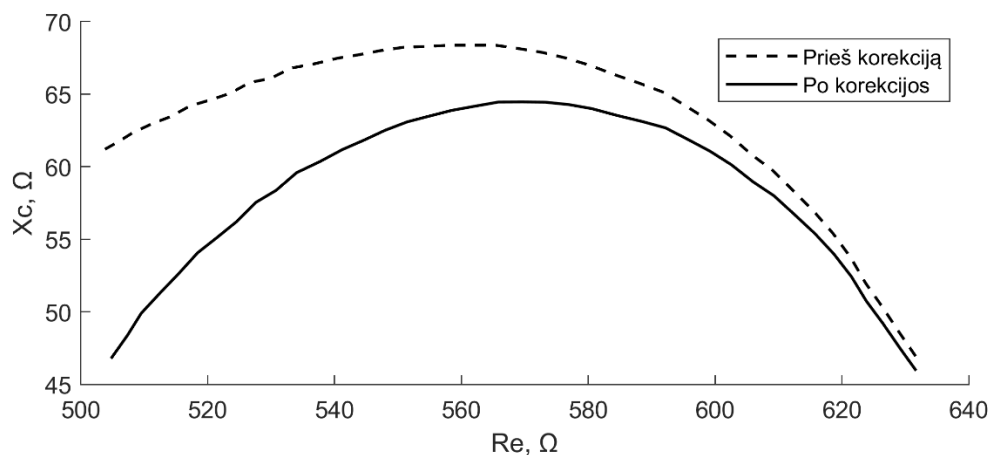
Bazinio žmogaus hidratacijos pokyčių vertinimo algoritmo struktūra pavaizduota 13 paveiksle. Šis algoritmas yra sukurtas ir pritaikytas viso kūno vandens kiekio įvertinimui atliekant matavimą tarp rankų. Algoritmą sudaro atskiros dalys:

- Realiosios ir menamosios bioimpedanso dalies apskaičiavimas;
- Vėlinimo korekcija;
- Cole–Cole diagramos ekstrapoliavimas;
- Nulinės ir begalinės varžos radimas;
- Hidratacijos lygio vertinimas.



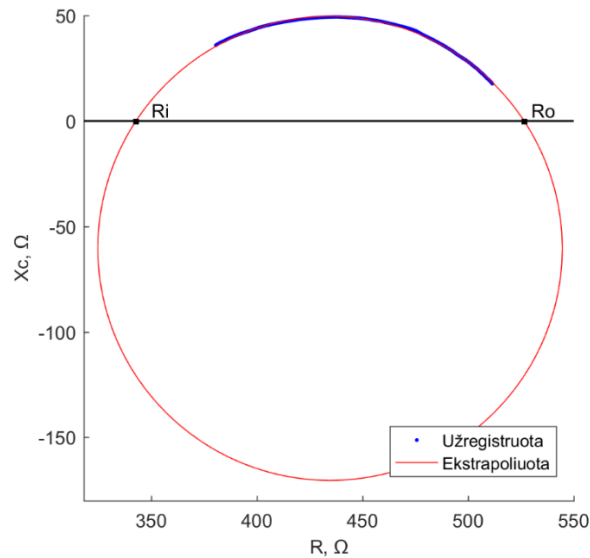
13 pav. Žmogaus hidratacijos pokyčių vertinimo struktūrinė architektūra

Panaudojant užregistruotus BIS duomenis (impedanso modulį ir fazės kampą) apskaičiuojamos impedanso realioji ir menamoji dalys. Dėl anksčiau minėto „Kabliuko efekto“ sukeltų iškraipymų atliekama korekcija, kurios rezultatas matomas 14 paveiksle.



14 pav. Cole – Cole diagrama prieš vėlinimo korekciją ir po korekcijos

Po pirminio apdorojimo braižoma Cole – Cole diagrama kurioje x ašis atitinka realią o y ašis menamą impedanso dalis. Naudojant mažiausių kvadratų vidurkio metodą ši diagrama ekstrapoliuojama iki pilno apskritimo, iš kurio surandamos nulinės ir begalinės varžos vertės. Tokio proceso rezultatas pavaizduotas 15 paveiksle. Nulinė ir begalinė varžos naudojamos apskaičiuojant hidratacijos lygį.



15 pav. Cole – Cole diagrama, jos ekstrapoliavimas ir surasta nulinė ir begalinė varžos

Intraląstelinio skysčio tūris apskaičiuojamas pagal (1) formulę [4]:

$$V_{IST} = V_{TST} \times \left(\left(\frac{\rho_{BVT} \times (R_E + R_I)}{\rho_{TST} \times R_I} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right); \quad (1)$$

čia V_{IST} – intraląstelinio skysčio tūris; V_{TST} – tarpląstelinio skysčio tūris; ρ_{BVT} – bendro kūno vandens skysčio savitoji varža; R_E – nulinė varža; R_I – begalinė varža; ρ_{TST} – tarpląstelinio skysčio varža.

Tarpląstelinio skysčio tūris apskaičiuojamas pagal (2) formulę [4]:

$$V_{TST} = k_{TST} \left(\frac{L^2 \sqrt{Wt}}{R_E} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad (2)$$

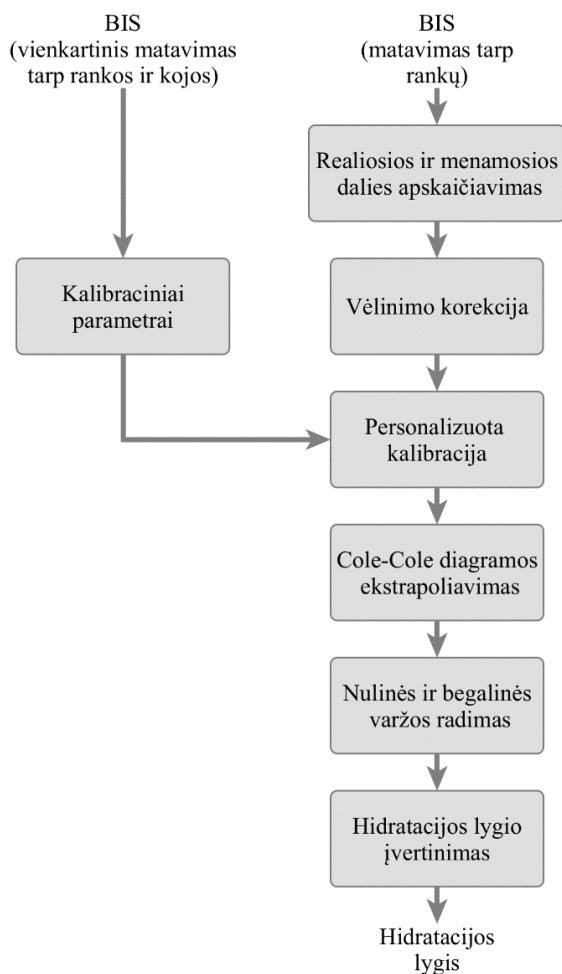
čia k_{TST} – koeficientas; L – ūgis; Wt – svoris.

Bendras kūno vandens tūris vertinamas kaip šių dviejų skysčių tūrių suma ir išreiškiama procentais nuo kūno svorio.

2.2.2. Personalizuota kalibracija

Šiame skyriuje pristatoma personalizuoto kalibravimo koncepcija. Viena iš pagrindinių priežasčių kodėl kai kurie prietaisai ar metodai nėra tinkami naudoti nuolatiniam hidratacijos stebėjimui yra matavimo nepatogumas, jis atliekamas tarp kojos ir rankos gulimoje pozicijoje. Kaip matoma 16 paveiksle, algoritmo architektūra išlieka beveik tokia pati, tačiau atsiranda papildomi kalibraciniai parametrai, kurie nustatomi atlikus vienkartinį matavimą tarp rankos ir kojos. Teoriškai atlikus matavimą tik tarp rankų ir žinant tipinį kūno dalių procentinį svorį, būtų galima apskaičiuoti preliminarų bendrą kūno vandens kiekį vien iš matavimo tarp rankų, tačiau toks matavimas nėra patikimas ir tikslus. Taip yra dėl to, kad bendrinis kūno masės dalių pasiskirstymas neatspindi žmonių kūno sudėjimo variacijų, skirtingi kūno sudėjimai lemia skirtingą kūno raumenų ir skeleto masės pasiskirstymą tarp apatinės ir viršutinės kūno dalies. Riebalų kiekis taip pat lemia vandens kiekį kūne, todėl toks matavimas nėra tinkamas. Būtent todėl atlikus pirmąjį matavimą tarp rankos ir kojos galime atlikti personalizuotą kalibraciją pagal kiekvieno žmogaus sudėjimą, riebalų ir raumenų kiekį bei

kitus individualius parametrus. Sutarus su vadovu tiksli personalizuoto kalibravimo procedūra šiame darbe nėra atskleidžiama dėl Biomedicininės inžinerijos institute vykdomo projekto.



16 pav. Žmogaus hidratacijos pokyčių vertinimo struktūrinė architektūra su personalizuota kalibracija

2.3. Eksperimentiniai tyrimai ir duomenų bazė

Siekiant ištirti žmogaus hidratacijos vertinimo algoritmą, atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu surinktos dvi duomenų bazės. Pirmojo eksperimentinio tyrimo tikslas surinkti duomenų bazę, kuri naudojama ištirti sukurto hidratacijos vertinimo algoritmo tikslumą. Eksperimentiniame tyrime Nr. 1 dalyvavo dvidešimt du tiriamieji (8 moterys ir 14 vyrų) nuo 23 iki 51 metų amžiaus. Tikslesni tiriamųjų duomenys pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Eksperimentinio tyrimo Nr. 1 tiriamųjų parametrai. Pateikiama mediana (ruožas)

Tiriamųjų skaičius	22
Amžius, m	29 (23–51)
Ūgis, cm	176,0 (158,0–191,0)
Svoris, kg	70,5 (49,0–113,0)
Kūno masės indeksas, kg/m ²	23,5 (17,5–36,5)

Antrojo eksperimentinio tyrimo tikslas surinkti duomenų bazę, kuri naudojama ištirti sukurto hidratacijos vertinimo algoritmo tikslumą hidratacijos lygiui kintant laike (5 dienos).

Eksperimentiniame tyrime Nr. 2 dalyvavo dvylika tiriamųjų (6 moterys ir 6 vyrai) nuo 23 iki 39 metų amžiaus. Tikslesni tiriamųjų duomenys pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Eksperimentinio tyrimo Nr. 2 tiriamųjų parametrai. Pateikiama mediana (ruožas)

Tiriamųjų skaičius	12
Amžius, m	29,5 (23–39)
Ūgis, cm	172,5 (158,0–188,0)
Svoris, kg	70,5 (58,7–95,0)
Kūno masės indeksas, kg/m ²	23,3 (20,2–27,8)

Eksperimentinio tyrimo Nr. 1 ir Nr. 2 metu naudojamas vienodas tyrimų protokolas, kurį sudaro 4 fazės (sutarus su darbo vadovu, speciali matavimo pozicija nėra atskleidžiama, dėl Biomedicininės inžinerijos institute vykdomo projekto):

- Bioimpedanso spektroskopijos matavimas naudojant atraminį komercinį prietaisą SFB7 (Impedimed, Australija);
- Matavimas atsistojus tarp rankų sistemos prototipu;
- Matavimas specialioje pozicijoje tarp rankos ir kojos (kartojamas 3 kartus);
- Pakartotinis matavimas specialioje pozicijoje tarp rankos ir kojos (kartojamas 3 kartus).

Esminis skirtumas tarp eksperimentinio tyrimo Nr. 1 ir Nr. 2 tai, kad pirmu atveju buvo atliekamas vienetinis matavimas, o antru atveju matavimai buvo atliekami penkias dienas iš eilės. Kiti skirtumai tarp sistemos prototipo ir atraminio prietaiso SFB7 bioimpedanso spektroskopijos matavimo:

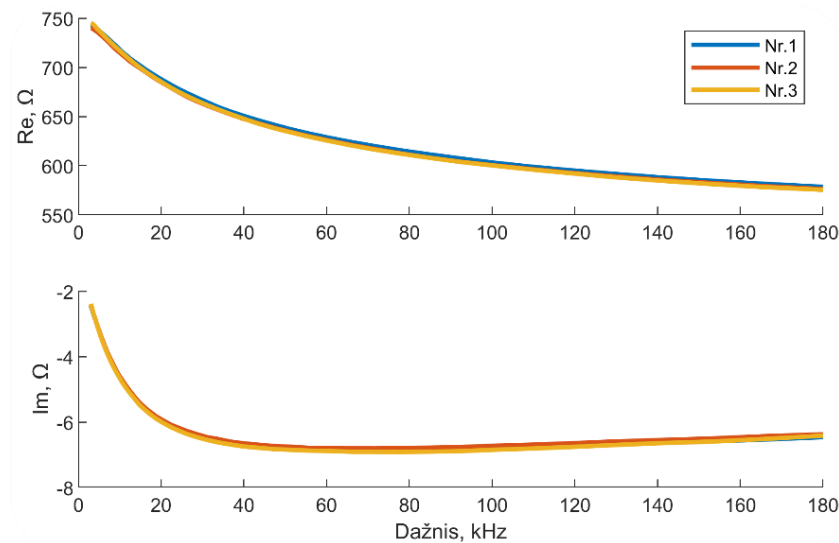
- Elektrodoai. Sistemos prototipas naudoja sauso tipo, daugkartinius, abiem rankomis apimamus elektrodus, atraminis prietaisas SFB7 – šlapio tipo, vienkartinius, ant rankos ir kojos klijuojamus elektrodus;
- Matavimo vieta. Sistemos prototipas bioimpedanso signalą matuoja tarp rankų, atraminis prietaisas SFB7 – tarp rankos ir kojos;
- Kūno pozicija. Sistemos prototipas bioimpedanso matavimą atlieka tiriamajam ramiai stovint (vertikali pozicija). Atraminis prietaisas SFB7 bioimpedanso matavimą atliekamas remiantis gamintojo nurodytais reikalavimais – tiriamajam gulint (horizontali pozicija).

3. Rezultatai

Panaudojant sukurtą hidratacijos vertinimo algoritmą ir sistemos prototipą atliktas eksperimentinis tyrimas ir užregistruota duomenų bazė. Analizuojant šios duomenų bazės duomenis įvertintas bendras sistemos prototipo tikslumas. Rezultatai palyginti su komerciniu kūno kompozicijai vertinti skirtu prietaisu SFB7.

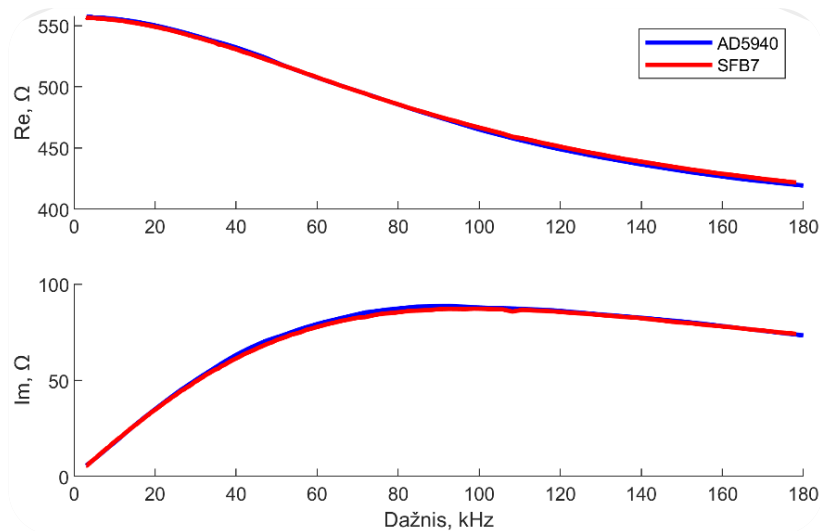
3.1. Prototipo tyrimas

Siekiant įvertinti suprojektuoto prototipo tikslumą, atlikti keli tyrimai. Pirmiausiai įvertintas prietaiso atsikartojamumas (angl. *repeatability*) – tai tuo pačiu prietaisu atliktų, nuoseklių, matavimų rezultatų sutapimas. Trijų matavimų rezultatų duomenys atvaizduoti 17 paveiksle. Realiosios impedanso dalies vidutinis variacijos koeficientas (angl. *coefficient of variation*) 0,26 %, menamosios 0,70 %.



17 pav. AD5940 stendo trijų matavimų duomenys

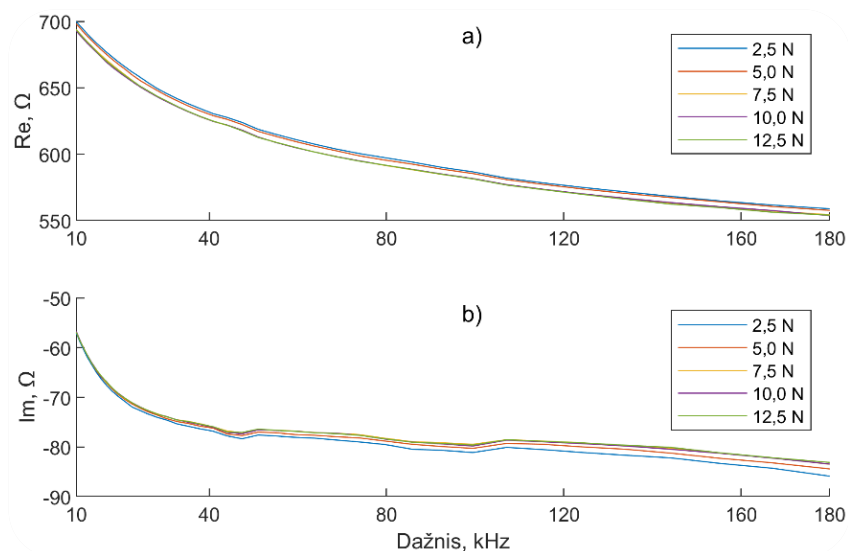
Toliau atliktas tikslumo įvertinimas lyginant matavimo rezultatus su atraminiu prietaisu SFB7 (Impedimed, Australija). Šiuo atveju siekiant išvengti klaidų tarp matavimų skirtingais prietaisais, buvo matuojama elektrinė grandinė (žiūrėti 2.1.1. skyrių). Grandinės konfigūracija ir elementų parametrai yra žmogaus kūno modelio atitikmuo. Matavimo rezultatų duomenys atvaizduoti 18 paveiksle. Toks matavimas leidžia objektyviai įvertinti ir palyginti dvi sistemas, nes atliekant matavimą su žmogumi egzistuoja žmogiškasis faktorius lemiantis skirtingą elektrodų apėmimo poziciją ir jėgą.



18 pav. Prototipu (AD5940) ir SFB7 prietaisais išmatuoto modelio, atitinkančio žmogaus kūną, matavimų duomenys

Realiosios impedanso dalies vidutinė kvadratinė paklaida (angl. *root mean square error*) $1,37 \Omega$, menamosios dalies $0,93 \Omega$. Signalų formai įvertinti, apskaičiuotas koreliacijos koeficientas. Realiosios impedanso dalies koreliacijos koeficientas $0,9999$, menamosios $0,9998$. Abiejų impedanso dalių koreliacijos koeficientai rodo beveik idealų signalo formos panašumą. Tai rodo, kad prietaisai geba matuoti tiksliai ir gali būti naudojamas tolimesniuose tyrimuose.

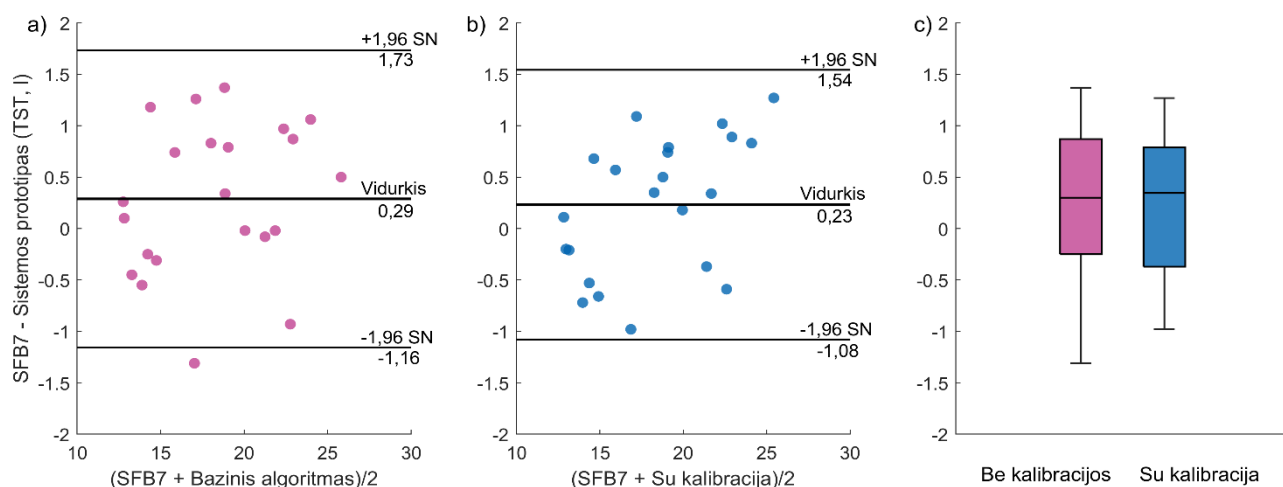
Literatūros analizės ir eksperimentinio tyrimo metu nustatyta, kad bioimpedanso registravimas yra jautrus pašaliniams veiksniams. Eksperimentų metu pastebėta, kad matavimo kokybę keičia elektrodų prispaudimo jėga. Elektrodų prispaudimo jėgos tyrimo metu užregistruoti duomenys pavaizduoti 19 paveiksle. Realiosios impedanso dalies vidutinis variacijos koeficientas (angl. *coefficient of variation*) $0,46 \%$, menamosios $0,64 \%$. Verta paminėti, kad šis matavimo metodas yra ypatingai jautrus tinkamam elektrodų kontaktui, todėl labai svarbu tinkamas elektrodų laikymas. Lyginant su prispaudimo jėga, prastas elektrodų kontaktas su žmogaus rankomis turi daug didesnę įtaką teisingam matavimui. Atlikus tyrimą nustatyta, kad $7,5 \text{ N}$ ($0,75 \text{ kg}$) jėga atitinka tinkamą elektrodų apėmimą.



19 pav. Matavimo rezultatų priklausomybė nuo elektrodų prispaudimo jėgos: realioji dalis (a), menamoji dalis (b)

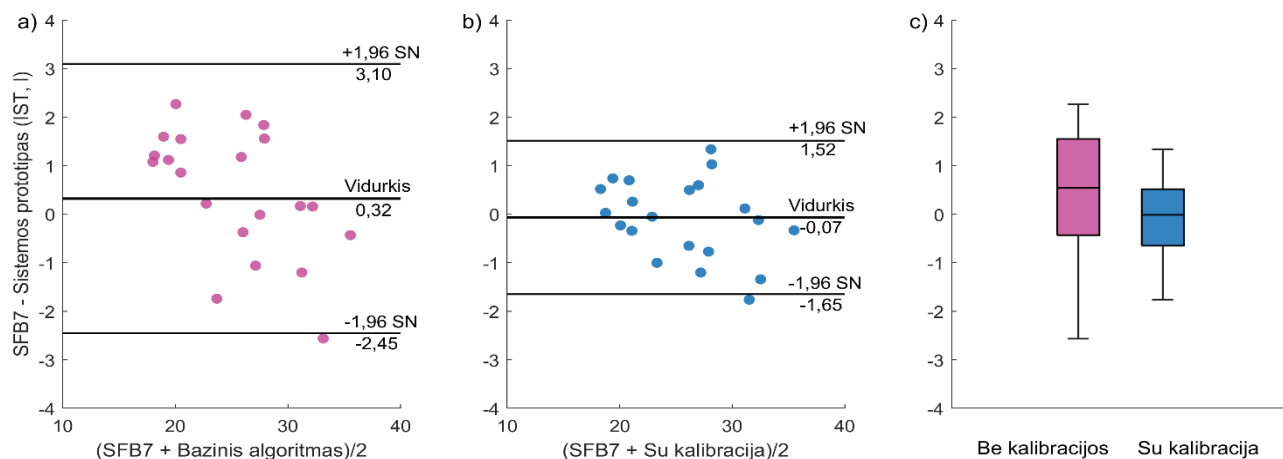
3.2. Hidratacijos algoritmo tyrimas

Algoritmų tikslumui įvertinti pasirinkta Bland–Altmano diagrama. Šioje diagramoje parodoma kaip tiksliai tiriamas prietaisas atlieką matavimą lyginant su atraminiu prietaisu. Siekiant apibendrinti šiuos rezultatus, pateikiama stačiakampė diagrama (angl. *Box plot*), kuri leidžia įvertinti rezultatų pasiskirstymą ir taip pat nurodo tarpkvartilinį plotį (t.y., kokiam ruože pasiskirstę 50 % rezultatų), be to stačiakampėje diagramoje gali būti matomos išskirtys. Tyrimo rezultatai vertinant tarpląstelinio vandens tūrį pateikiami paveiksle 20 (a), matoma 0,29 l sisteminė paklaida prieš kalibraciją ir 0,23 l po kalibracijos (20 pav. b). Atsitiktinė paklaida patenka į intervalą nuo -1,16 l iki 1,73 l prieš kalibraciją ir nuo -1,08 l iki 1,54 l po kalibracijos (95 % pasikliautinumo intervalas). Stačiakampė paklaidų diagrama (20 pav. c) apibendrina nurodytus rezultatus – bazinio algoritmo tarpkvartilinis plotis -0,25 – 0,87 l su kalibracija -0,37 – 0,79 l.



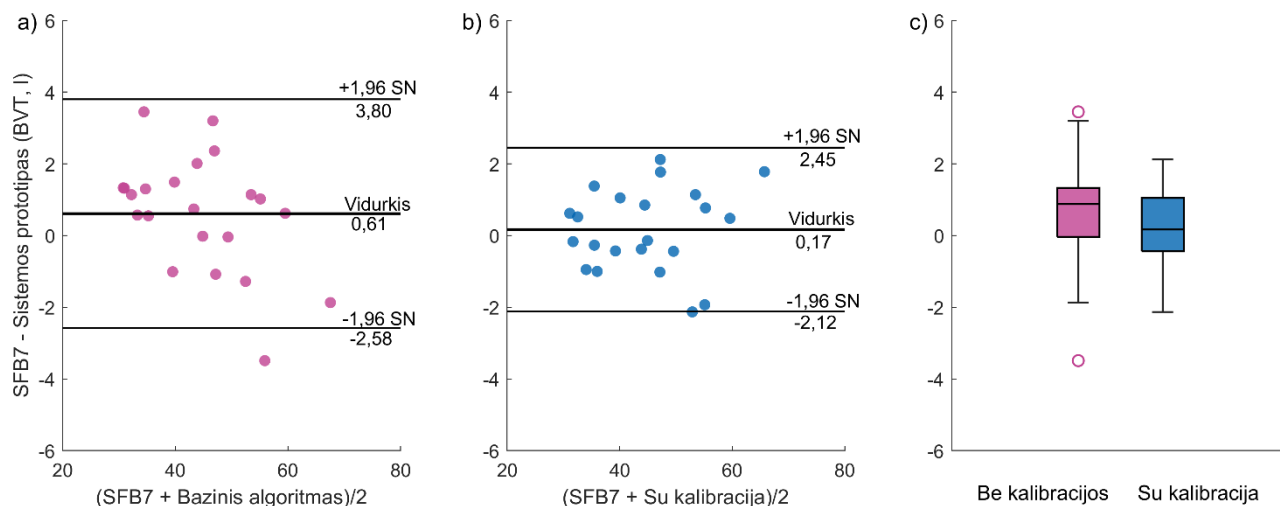
20 pav. Tarpląstelinio skysčio tūrio tyrimo rezultatų analizė: Bland – Altmano diagrama prieš kalibraciją a), po kalibracijos b), stačiakampė diagrama c)

Tyrimo rezultatai vertinant intraląstelinio vandens tūrį pateikiami 21 paveiksle, čia (21 pav. a) matoma 0,32 l sisteminė paklaida prieš kalibraciją ir -0,07 l po kalibracijos (21 pav. b). Atsitiktinė paklaida patenka į intervalą nuo -2,45 l iki 3,10 l prieš kalibraciją ir nuo -1,65 l iki 1,52 l po kalibracijos (95 % pasikliautinumo intervalas). Tarpkvartilinis plotis -0,43 – 1,55 l ir -0,65 – 0,52 l (21 pav. c).



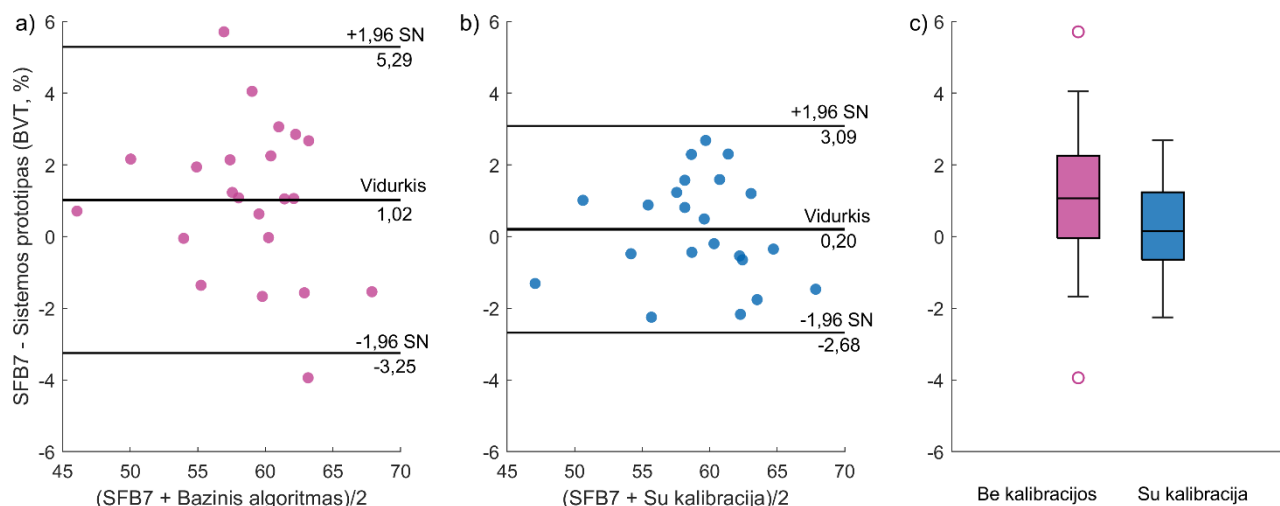
21 pav. Intraląstelinio skysčio tūrio tyrimo rezultatų analizė: Bland – Altmano diagrama prieš kalibraciją a), po kalibracijos b), stačiakampė diagrama c)

Tyrimo rezultatai vertinant bendrą kūno vandens tūrį litrais pateikiami 22 paveiksle, čia (22 pav. a) matoma 0,61 l sisteminė paklaida prieš kalibraciją ir 0,17 l po kalibracijos (22 pav. b). Atsitiktinė paklaida patenka į intervalą nuo -2,58 l iki 3,80 l prieš kalibraciją ir nuo -2,12 l iki 2,54 l po kalibracijos (95 % pasikliautinumo intervalas). Diagramoje (22 pav. c) pastebimos dvi išskirtys, tarpkvartilinis plotis prieš kalibraciją -0,04 – 1,33 l ir -0,44 – 1,05 l po kalibracijos.



22 pav. Bendro vandens tūrio (litrais) tyrimo rezultatų analizė: Bland – Altmano diagrama prieš kalibraciją a), po kalibracijos b), stačiakampė diagrama c)

Tyrimo rezultatai vertinant bendrą kūno vandens tūrį procentais pateikiami 23 paveiksle, čia (23 pav. a) diagramoje matoma 1,02 % sisteminė paklaida prieš kalibraciją ir 0,20 % po kalibracijos (23 pav. b). Atsitiktinė paklaida patenka į intervalą nuo -3,25 % iki 5,29 % prieš kalibraciją ir nuo -2,68 % iki 3,09 % po kalibracijos (95 % pasikliautinumo intervalas). Diagramoje (23 pav. c) matomos dvi stipriai nutolusios išskirtys, tarpkvartilinis plotis prieš kalibraciją -0,05 – 2,25 % ir po kalibracijos -0,65 – 1,23 %.



23 pav. Bendro vandens tūrio (dalis kūno svorio, %) tyrimo rezultatų analizė: Bland – Altmano diagrama prieš kalibraciją a), po kalibracijos b), stačiakampė diagrama c)

Pateikiamos (žr. 3 lentelė), bazinio algoritmo ir personalizuotos kalibracijos algoritmo, vidutinės kvadratinės paklaidos vertės (angl. *Root mean square error*). Šiuo atveju nurodoma kokia yra paklaida tarp atraminio prietaiso ir kiekvieno iš algoritmų. Personalizuotos kalibracijos atveju

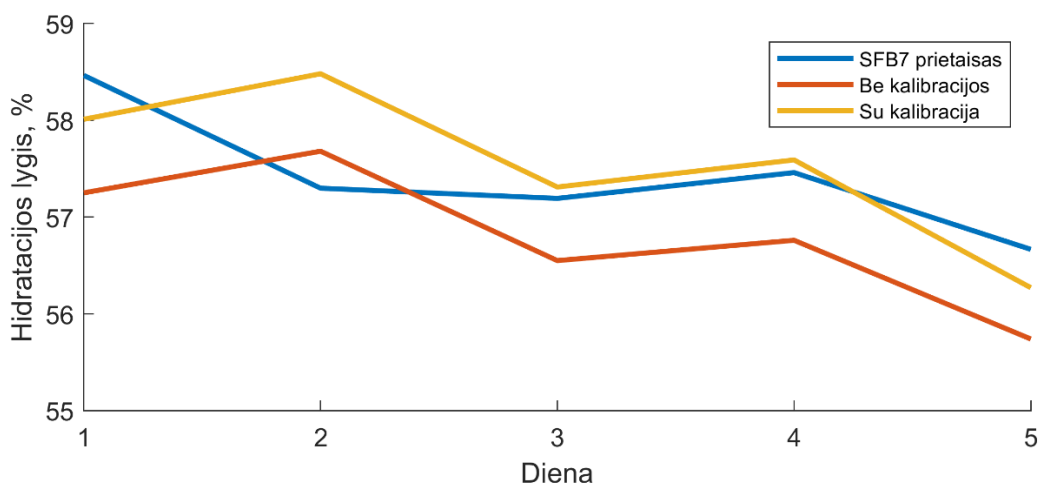
matoma, kad visų parametų paklaidos yra sumažėjusios. Didžiausias paklaidos sumažėjimas (~ 1.8 karto) stebimas vertinant intraląstelinį skystį (IST).

3 lentelė. Bazinio algoritmo ir personalizuotos kalibracijos algoritmo vidutinės kvadratinės paklaidos (angl. RMSE) lyginant su atraminiu prietaisu.

Parametras	Bazinis algoritmas	Personalizuota kalibracija
TST	0,78 l	0,69 l
IST	1,42 l	0,79 l
BVT	1,70 l	1,15 l
BVT	2,36 %	1,45 %

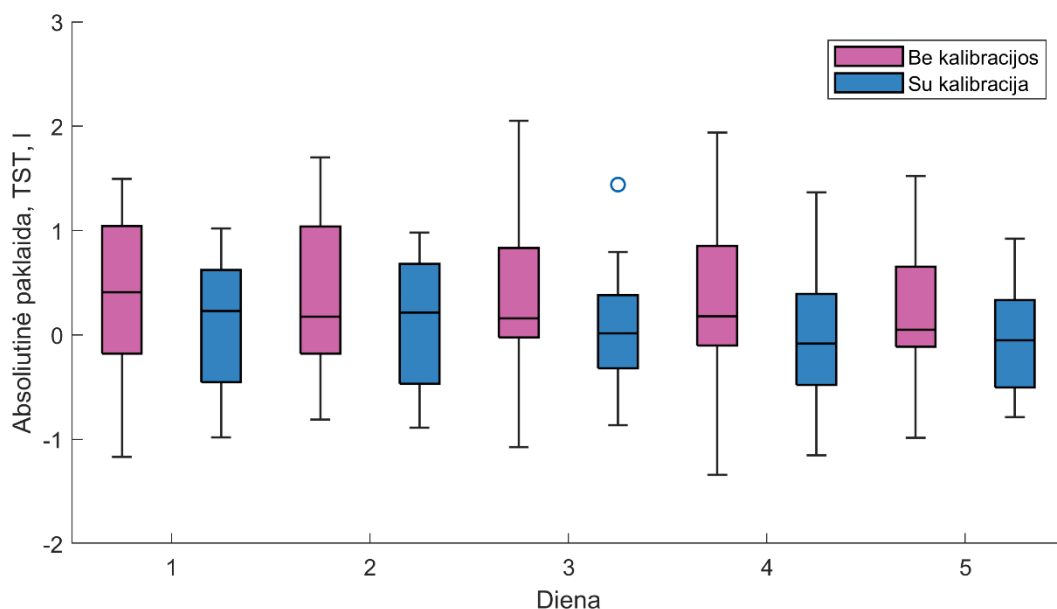
3.3. Hidratacijos lygio ilgalaikė stebėseną

Vieno tiriamojo penkių dienų hidratacijos lygio kitimas pateikiamas 24 paveiksle. Stebimas gana didelis hidratacijos kitimo, tendencijų, panašumas. Visų tiriamųjų, penkių dienų pokyčių, vidutinės kvadratinės paklaidos, tarp atraminio prietaiso ir sistemos prototipo, mediana siekė 2,29 % (tarpkvartilinis plotis 1,94–2,62 %). Pritaikius kalibraciją ir atlikus penkių dienų analizę, nustatyta, kad visų tiriamųjų, penkių dienų pokyčių, vidutinės kvadratinės paklaidos tarp atraminio prietaiso ir sistemos prototipo, mediana siekė 1,99 % (tarpkvartilinis plotis 1,37–2,31 %). Personalizuota kalibracija atlikta pirmąją iš penkių dienų, kitas dienas matavimai buvo atliekami tik tarp rankų pritaikant kalibracinius koeficientus. Remiantis šiais duomenimis galima teigti, kad toks metodas pagerina matavimo tikslumą.



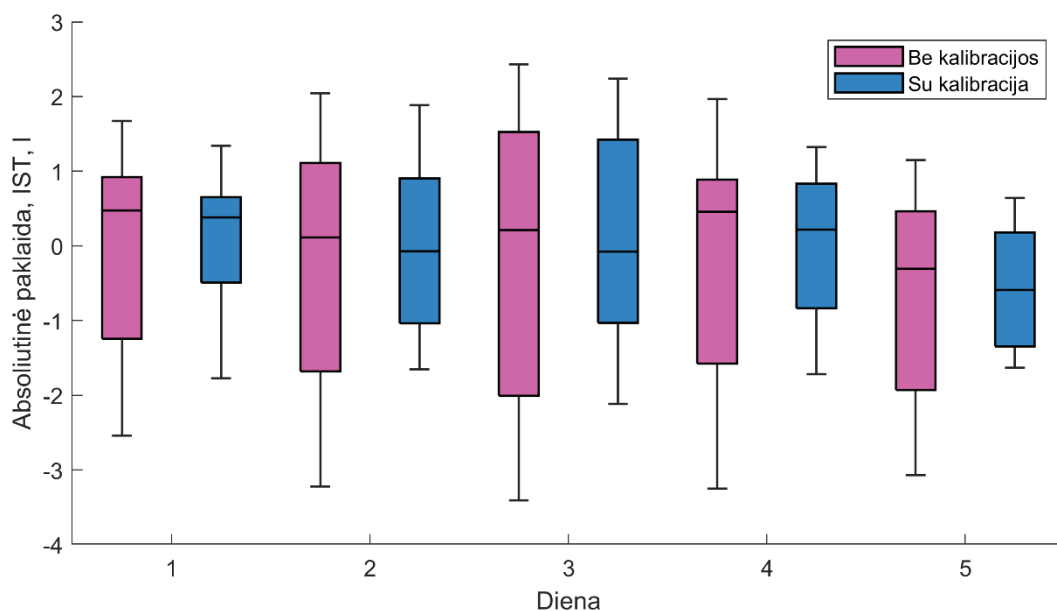
24 pav. Vieno tiriamojo penkių dienų hidratacijos lygio kitimo pavyzdys

Gilesnė rezultatų analizė pateikiama 25 paveiksle. Stebint visų tiriamųjų penkių dienų matavimų absoliutines paklaidas, vertinant tarpląstelinio skysčio tūrį ir sukalibravus pagal pirmąją dieną matomos mažesnės absoliutinių paklaidų vertės. Tarpkvartilinio pločio mediana be kalibracijos 0,96 l su kalibracija 0,87 l. Paminėtina, kad trečiąją dieną matoma viena išskirtis, kuri galimai atsirado dėl prasto matavimo.



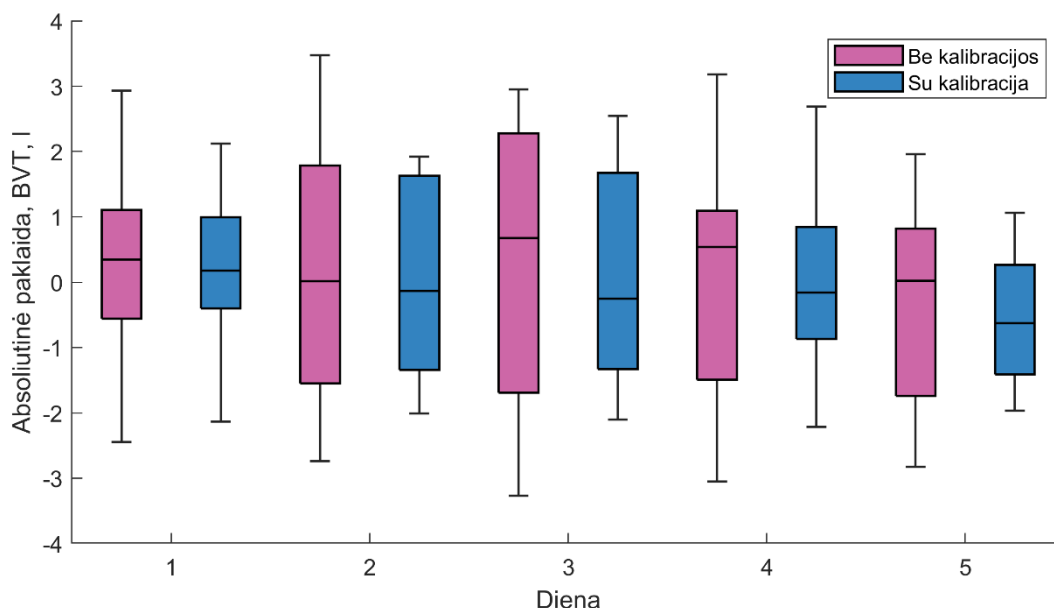
25 pav. 12-os žmonių hidratacijos lygio paklaidos 5-ių dienų laikotarpyje atlikus personalizuotą kalibravimą pirmąjį dieną TST, l

Vertinant intraląstelinio skysčio tūrio pokyčius penkių dienų laikotarpyje nėra stebimas tendencingas tikslumo mažėjimas arba didėjimas (26 pav.). Personalizuotos kalibracijos atveju gaunamas mažesnis rezultatų išsibarstymą nei be kalibracijos atveju. Tarpkvartilinių plokčių mediana su personalizuota kalibracija (1,67 l) yra 1,48 karto mažesnė nei be kalibracijos (2,47 l). Galima daryti išvadą, kad personalizuota kalibracija padidina intraląstelinio skysčio tūrio vertinimo tikslumą penkių dienų laikotarpyje (kalibravimas atliktas pagal pirmos dienos matavimą).



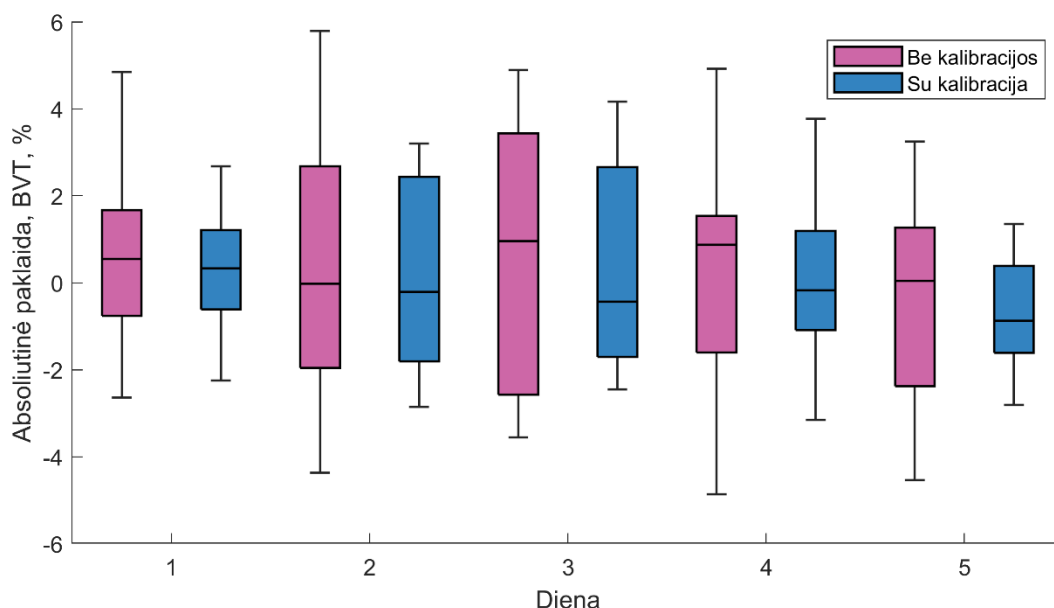
26 pav. 12-os žmonių hidratacijos lygio paklaidos 5-ių dienų laikotarpyje atlikus personalizuotą kalibravimą pirmąjį dieną IST, l

Vertinant bendro kūno vandens tūrio pokyčius litrais, kaip ir prieš tai, pastebimas mažesnis rezultatų išsibarstymas atlikus personalizuotą kalibravimą (27 pav.). Tarpkvartilinių pločių mediana su personalizuota kalibracija (1,72 l) yra 1,5 karto mažesnė nei be kalibracijos (2,58 l).



27 pav. 12-os žmonių hidratacijos lygio paklaidos 5-ių dienų laikotarpyje atlikus personalizuotą kalibravimą pirmą dieną BVT, l

Vertinant bendro kūno vandens tūrio pokyčius penkių dienų laikotarpyje (procentine kūno svorio dalimi) nėra stebimas tendencingas tikslumo mažėjimas arba didėjimas. Kaip ir visuose praeituose tyrimuose matomas mažesnis rezultatų išsibarstymas. Tarpkvartilinių pločių mediana su personalizuota kalibracija (2,28 %) yra 1,6 karto mažesnė nei be kalibracijos (3,65 %). Įvertinus mažesnę rezultatų išsibarstymą, kalibracija potencialiai gali veikti ilgą laiko tarpą, tol kol drastiškai nepasikeitė žmogaus kūno kompozicija (kalibravimas atliktas pagal pirmos dienos matavimą).



28 pav. 12-os žmonių hidratacijos lygio paklaidos 5-ių dienų laikotarpyje atlikus personalizuotą kalibravimą pirmą dieną BVT, %

Įvertinus dvylikos žmonių, hidratacijos pokyčius, penkių dienų laikotarpyje, užregistruotus komerciniu SFB7 prietaisu, gauta variacijos koeficiento mediana 0,63 % (tarpkvartilinis plotis 0,43 – 1,15 %). Bazinio algoritmo atveju, variacijos koeficiento mediana 0,77 % (tarpkvartilinis plotis 0,55 – 1,75 %). Atlikus kalibravimą variacijos koeficiento mediana 0,79 % (tarpkvartilinis plotis 0,56 – 1,86 %). Rezultatai rodo, kad sveikam ir gana pastovų gyvenimo būdą turinčiam žmogui, penkių dienų laikotarpyje, hidratacijos pokyčiai yra nežymūs (± 2 %). Tai atitinka literatūroje pateikiamą informaciją [3], kurioje nurodoma, kad kūno svorio variacijos dėl vandens kiekio kūne svyravimų iki 2 % yra laikoma įprasta ir normalia būseną. Įvairiuose literatūros šaltiniuose teigiama, kad pirminiai dehidratacijos simptomai (troškulys, nuotaikų kaita, išsiblaškymas ir pan.) pasireiškia dehidratacijai viršijus 2 % ribą. Įprastai laikoma, kad normalus hidratacijos lygis moterims svyruoja tarp 50–55 %, vyrams tarp 60–70 %. Stebint hidratacijos pokyčius svarbu žinoti įprastą, kiekvienam žmogui individualų hidratacijos lygį, nes tam tikroms žmonių grupėms galimas staigus, didelio vandens kiekio, praradimas. Tokiu atveju, net ir patenkant į absoliučias hidratacijos lygio normas, žmogus gali būti dehidratavęs.

Tolimesnės tyrimų kryptys

Šiuo metu stebimas vis didesnis susidomėjimas bioimpedanso taikymu daugelyje medicinos sričių. Tai galėjo lemti metodo paprastumas, neinvaziškumas ir matavimo greitis. Hidratacijos lygio vertinimas yra tik viena iš pritaikymo sričių, šiuo metodu taip pat galima įvertinti pilną kūno kompoziciją, diagnozuoti edemą ir kt., tačiau šis metodas turi trūkumų kurie turi būti pašalinti. Siekiant tinkamai integruoti BIS matavimus į dėvimus prietaisus reikia atlikti papildomus tyrimus kurie padėtų užtikrinti metodo patikimumą:

- Žinoma, kad bioimpedanso matavimai yra jautrūs temperatūros svyravimams. Aktyviai judant ar dirbant bei esant karštame ar šaltame klimato žmogaus kūno temperatūra svyruoja, o tai keičia bioimpedanso matavimo tikslumą [46]. Dauguma šiuolaikinių išmaniųjų laikrodžių geba matuoti kūno temperatūrą. Todėl, reikėtų atlikti tyrimą kaip žmogaus kūno temperatūra lemia bioimpedanso matavimo tikslumą ir atlikus rezultatų analizę pritaikyti kalibraciją.
- Nurodoma, kad bioimpedanso matavimai yra jautrūs kūno pozicijos pokyčiams dėl laisvų skysčių persiskirstymo [7]. Kuriant dėvimą prietaisą siekiama užtikrinti kuo patogesnę matavimą galutiniam vartotojui, todėl matavimo procedūra turėtų būti pagrįsta ir standartizuota. Tam reikalinga atlikti tyrimą kaip šie dalykai lemia matavimo tikslumą ir užtikrinti metodo patikimumą pateikiant aiškias instrukcijas.
- Dėvimi medicininiai prietaisai ir išmanieji laikrodžiai turi būti patogūs ir ergonomiški, tuo pačiu siekiama, kad šie prietaisai būtų kuo mažesni. Tai lemia ribotą elektrodų paviršiaus plotą. Bioimpedanso matavimams ypatingai svarbus tinkamas elektrodų kontaktas su oda, todėl kuo mažesni elektrodai tuo sunkiau užtikrinti tinkamą matavimą [47]. Ne mažiau svarbus ir elektrodų padengimas [48]. Tai rodo, kad reikalinga atskira elektrodų studija siekiant integruoti BIS matavimus į dėvimus prietaisus.

Išvados

1. Siekiant ištirti žmogaus hidratacijos vertinimo algoritmą, atlikti du eksperimentiniai tyrimai ir surinktos dvi duomenų bazės. Pirmoji skirta ištirti hidratacijos vertinimo algoritmo tikslumą atliekant vienkartinį matavimą, antroji – ištirti hidratacijos vertinimo algoritmo tikslumą ilgalaikėje perspektyvoje (5-ių dienų laikotarpyje).
2. Ištyrus sistemos prototipą, naudojant bazinį algoritmą, nustatyta 1,02 % sisteminė paklaida. Atsitiktinė paklaida patenka į intervalą nuo -3,25 % iki 5,29 % (95 % pasikliautinumo intervalas). Pašalinus išskirtis, 50 % verčių patenka į -0,05 – 2,25 % intervalą. Atlikus personalizuotą kalibravimą nustatyta 0,20 % sisteminė paklaida. Atsitiktinė paklaida patenka į intervalą nuo -2,68 % iki 3,09 %. Šiuo atveju išskirčių nenustatyta, o 50 % verčių patenka į 0,65 – 1,23 % intervalą. Bazinio algoritmo vidutinės kvadratinės paklaidos: TST 0,78 l, IST 1,42 l BVT 1,70 l. Personalizuotos kalibracijos algoritmo vidutinės kvadratinės paklaidos: TST 0,69 l IST 0,79 l BVT 1,15 l.
3. Vertinant hidratacijos lygio kitimą bėgant laikui nustatyta, kad visų tiriamųjų, penkių dienų pokyčių, vidutinės kvadratinės paklaidos, tarp atraminio prietaiso ir sistemos prototipo, mediana siekė 2,29 % (tarpkvartilinis plotis 1,94–2,62 %). Pritaikius kalibraciją pagal pirmosios dienos matavimą (ranka – koja) ir atlikus penkių dienų analizę (matuojant ranka – ranka), nustatyta, vidutinės kvadratinės paklaidos mediana siekė 1,99 % (tarpkvartilinis plotis 1,37–2,31 %). Visuose atliktuose penkių dienų laikotarpio tyrimuose matomas mažesnis rezultatų išsibarstymas pritaikius kalibravimą. Vertinant BVT (%) nustatyta tarpkvartilinio pločio mediana – be kalibracijos 3,65 % su kalibracija 2,28 % (1,6 karto geresnis rezultatas). Penkių dienų laikotarpyje nėra stebimas tendencingas tikslumo mažėjimas arba didėjimas ir įvertinus mažesnę rezultatų išsibarstymą galima teigti, kad kalibracija potencialiai gali veikti ilgą laiko tarpą, tol kol drastiškai nepasikeitė žmogaus kūno kompozicija.

Literatūros sąrašas

- [1] “Human nutrition - Vitamins | Britannica.” Prieiga per internetą: <https://www.britannica.com/science/human-nutrition/Vitamins> (žiūrėta 2023.04.25).
- [2] “How Much Water Should a Person Drink in a Day? | Britannica.” Prieiga per internetą: <https://www.britannica.com/story/how-much-water-should-a-person-drink-in-a-day> (žiūrėta 2023.04.25).
- [3] K. Taylor and E. B. Jones, *Adult Dehydration*. StatPearls Publishing, 2020. Prieiga per internetą: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32310416> (žiūrėta 2023.04.25).
- [4] S. Montazer, A. A. Farshad, M. R. Monazzam, M. Eyvazlou, A. A. S. Yaraghi, and R. Mirkazemi, “Assessment of construction workers’ hydration status using urine specific gravity,” *Int J Occup Med Environ Health*, vol. 26, no. 5, pp. 762–769, 2013, doi: 10.2478/s13382-013-0143-x.
- [5] J. Lacey *et al.*, “A multidisciplinary consensus on dehydration: definitions, diagnostic methods and clinical implications,” *Ann Med*, vol. 51, no. 3–4, pp. 232–251, 2019, doi: 10.1080/07853890.2019.1628352.
- [6] M. Millard-Stafford, D. M. Wendland, N. K. O’Dea, and T. L. Norman, “Thirst and hydration status in everyday life,” *Nutr Rev*, vol. 70, no. SUPPL/2, pp. 147–151, 2012, doi: 10.1111/j.1753-4887.2012.00527.x.
- [7] D. C. Garrett *et al.*, “Engineering Approaches to Assessing Hydration Status,” *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 11, pp. 233–248, 2018, doi: 10.1109/RBME.2017.2776041.
- [8] M. D. Zink *et al.*, “Segmental Bioelectrical Impedance Spectroscopy to Monitor Fluid Status in Heart Failure,” *Sci Rep*, vol. 10, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-60358-y.
- [9] I. of Medicine, *Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate*. National Academies Press, 2005. doi: 10.17226/10925.
- [10] “Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water,” *EFSA Journal*, vol. 8, no. 3, May 2016, doi: 10.2903/j.efsa.2010.1459.
- [11] “The Hydration Foundation - Dehydration is the single biggest issue facing healthcare in Great Britain today. - Dehydration.” Prieiga per internetą: <https://www.thehydrationfoundation.org/dehydration.html> (žiūrėta 2023.04.25).
- [12] R. Carter *et al.*, “Epidemiology of hospitalizations and deaths from heat illness in soldiers,” *Med Sci Sports Exerc*, vol. 37, no. 8, pp. 1338–1344, Aug. 2005, doi: 10.1249/01.mss.0000174895.19639.ed.
- [13] A. van der Tol, N. Lameire, R. L. Morton, W. Van Biesen, and R. Vanholder, “An international analysis of dialysis services reimbursement,” *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, vol. 14, no. 1, pp. 84–93, Jan. 2019, doi: 10.2215/CJN.08150718.
- [14] U. Moissl *et al.*, “Prevalence of fluid overload in an urban <sc>US</sc> hemodialysis population: A cross-sectional study,” *Hemodialysis International*, vol. 26, no. 2, pp. 264–273, Apr. 2022, doi: 10.1111/hdi.12986.
- [15] “Hydration sensor could improve dialysis | MIT News | Massachusetts Institute of Technology.” Prieiga per internetą: <https://news.mit.edu/2019/hydration-sensor-dialysis-0724> (žiūrėta 2023.04.25).
- [16] “The Link Between Dehydration & CHF - DispatchHealth.” Prieiga per internetą: <https://www.dispatchhealth.com/blog/the-link-between-dehydration-and-CHF/> (žiūrėta 2023.04.25).

- [17] D. Liska, E. Mah, T. Brisbois, P. L. Barrios, L. B. Baker, and L. L. Spriet, "Narrative review of hydration and selected health outcomes in the general population," *Nutrients*, vol. 11, no. 1. MDPI AG, Jan. 01, 2019. doi: 10.3390/nu11010070.
- [18] "Overhydration | Britannica." Prieiga per internetą: <https://www.britannica.com/science/overhydration> (žiūrėta 2023.04.25).
- [19] "Overhydration - Hormonal and Metabolic Disorders - MSD Manual Consumer Version." Prieiga per internetą: <https://www.msdmanuals.com/home/hormonal-and-metabolic-disorders/water-balance/overhydration> (žiūrėta 2023.04.25).
- [20] J. C. Watso and W. B. Farquhar, "Hydration status and cardiovascular function," *Nutrients*, vol. 11, no. 8, 2019, doi: 10.3390/nu11081866.
- [21] J. Lacey *et al.*, "A multidisciplinary consensus on dehydration: definitions, diagnostic methods and clinical implications," *Ann Med*, vol. 51, no. 3–4, pp. 232–251, May 2019, doi: 10.1080/07853890.2019.1628352.
- [22] F. A. Duck, "Tissue Composition," *Physical Properties of Tissues*, pp. 319–328, 1990, doi: 10.1016/b978-0-12-222800-1.50013-9.
- [23] R. A. Oppliger and C. Bartok, "Hydration testing of athletes," *Sports Medicine*, vol. 32, no. 15, pp. 959–971, 2002, doi: 10.2165/00007256-200232150-00001.
- [24] H. C. Lukaski, N. Vega Diaz, A. Talluri, and L. Nescolarde, "Classification of hydration in clinical conditions: Indirect and direct approaches using bioimpedance," *Nutrients*, vol. 11, no. 4, pp. 1–22, 2019, doi: 10.3390/nu11040809.
- [25] R. P. Francesconi *et al.*, "Urinary and hematologic indexes of hypohydration," *J Appl Physiol*, vol. 62, no. 3, pp. 1271–1276, 1987, doi: 10.1152/jappl.1987.62.3.1271.
- [26] S. M. Shirreffs and R. J. Maughan, "Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat," *Med Sci Sports Exerc*, vol. 30, no. 11, pp. 1598–1602, 1998, doi: 10.1097/00005768-199811000-00007.
- [27] D. P. Rose *et al.*, "Adhesive RFID sensor patch for monitoring of sweat electrolytes," *IEEE Trans Biomed Eng*, vol. 62, no. 6, pp. 1457–1465, Jun. 2015, doi: 10.1109/TBME.2014.2369991.
- [28] N. P. Walsh, J. C. Montague, N. Callow, and A. V. Rowlands, "Saliva flow rate, total protein concentration and osmolality as potential markers of whole body hydration status during progressive acute dehydration in humans," *Arch Oral Biol*, vol. 49, no. 2, pp. 149–154, 2004, doi: 10.1016/j.archoralbio.2003.08.001.
- [29] A. Ivorra, "Bioimpedance_for_physicians_rev1.pdf," *Centre Nacional de Miroelectronica*, vol. 2002, pp. 1–35, 2002.
- [30] A. De Lorenzo, A. Andreoli, J. Matthie, and P. Withers, "Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: A technological review," *J Appl Physiol*, vol. 82, no. 5, pp. 1542–1558, 1997, doi: 10.1152/jappl.1997.82.5.1542.
- [31] J. R. Matthie, "Bioimpedance measurements of human body composition: Critical analysis and outlook," *Expert Rev Med Devices*, vol. 5, no. 2, pp. 239–261, 2008, doi: 10.1586/17434440.5.2.239.
- [32] I. M. Gidado, M. Qassem, I. F. Triantis, and P. A. Kyriacou, "Review of Advances in the Measurement of Skin Hydration Based on Sensing of Optical and Electrical Tissue Properties," *Sensors*, vol. 22, no. 19, p. 7151, Sep. 2022, doi: 10.3390/s22197151.
- [33] "Multiprobe MoistureMeterD - Delfin Technologies." Prieiga per internetą: <https://delfintech.com/products/moisturemeterd/> (žiūrėta 2023.04.25).

- [34] “Multiprobe MoistureMeterD - Delfin Technologies.” Prieiga per internetą: <https://delfintech.com/products/moisturemeterd/> (žiūrėta 2023.04.25).
- [35] “SOZO® Digital Health Platform | ImpediMed.” Prieiga per internetą: <https://www.impedimed.com/products/sozo/> (žiūrėta 2023.04.25).
- [36] “Biody Xpert Zm 2 - Impédancemètre Professionnel Certifié Médical – eBIODY.” Prieiga per internetą: <https://ebiody-store.com/products/biody-xpert-impedancemetre-professionnel-medical> (žiūrėta 2023.04.25).
- [37] “Body Composition Wi-Fi Scale - Body+ | Withings.” Prieiga per internetą: <https://www.withings.com/eu/en/body-plus> (žiūrėta 2023.04.25).
- [38] “Buy Omron HBF 375 Body Composition Monitor Online for Home Use at Best Price.” Prieiga per internetą: <https://www.omronbrandshop.com/product/digital-weighing-machines/hbf-375/> (žiūrėta 2023.04.25).
- [39] “hDrop Hydration Wearable Monitor - Dehydration Sensor.” Prieiga per internetą: <https://hdroptech.com/> (žiūrėta 2023.04.25).
- [40] “AURA Strap 2.” <https://auradevices.io/> (žiūrėta 2023.04.25).
- [41] “Išmanusis laikrodis SAMSUNG Galaxy Watch5 44mm Gray (ZA) - Topocentras.” Prieiga per internetą: <https://www.topocentras.lt/ismanusis-laikrodis-samsung-galaxy-watch5-44mm-gray-za.html> (žiūrėta 2023.04.25).
- [42] J. P. Bennett *et al.*, “Next-generation smart watches to estimate whole-body composition using bioimpedance analysis: accuracy and precision in a diverse, multiethnic sample,” *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 116, no. 5, pp. 1418–1429, Nov. 2022, doi: 10.1093/ajcn/nqac200.
- [43] “SFB7 BIS Research Device | ImpediMed.” Prieiga per internetą: <https://www.impedimed.com/products/research-devices/sfb7/> (žiūrėta 2023.04.25).
- [44] R. Buendia, F. Seoane, and R. Gil-Pita, “A novel approach for removing the hook effect artefact from Electrical Bioimpedance spectroscopy measurements,” in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, 2010. doi: 10.1088/1742-6596/224/1/012126.
- [45] C. Review, S. Communication, and G. Principles, “World Medical Association Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects,” 2013.
- [46] B. H. Cornish, B. J. Thomas, and L. C. Ward, “Effect of temperature and sweating on bioimpedance measurements,” in *Applied Radiation and Isotopes*, Elsevier Sci Ltd, May 1998, pp. 475–476. doi: 10.1016/S0969-8043(97)00057-2.
- [47] M. Usman, A. K. Gupta, and W. Xue, “Analyzing Dry Electrodes for Wearable Bioelectrical Impedance Analyzers,” *2019 IEEE Signal Processing in Medicine and Biology Symposium, SPMB 2019 - Proceedings*, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/SPMB47826.2019.9037863.
- [48] R. Kusche, S. Kaufmann, and M. Ryschka, “Dry electrodes for bioimpedance measurements - Design, characterization and comparison,” *Biomed Phys Eng Express*, vol. 5, no. 1, 2019, doi: 10.1088/2057-1976/aaea59.

Priedai

1 priedas. Darbo viešinimas: „Technorama“ 2022



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETO NACIONALINIS INOVACIJŲ IR VERSLO CENTRAS

Centralizuotai stipendijų skyrimo komisijai

2022-09-09 Nr. V22-MI42-36

PATVIRTINIMAS

Nacionalinis inovacijų ir verslo centras patvirtina, kad Rimvydas Eitminavičius, Elektros ir elektronikos fakulteto biomedicininės inžinerijos II magistro kurso studentas, 2022 m. gegužės 26 d. vykusioje parodoje-konkurse „Technorama“ kartu su komanda pristatė sprendimą „Dėvimos elektroninės sistemos prototipas, skirtas stebėti žmogaus kūno hidratacijos lygio pokyčius“ (angl. „Prototype of a wearable electronic system for monitoring changes of human body hydration level“) ir laimėjo įmonės UAB „Softeq Development“ įsteigtą 500 Eur prizą.

Centro vadovas

Mindaugas Bulota

Eglė Vaitkevičienė, tel. 8 37 300 696, el. p. egle.vaitkeviciene@ktu.lt

Dėvimos elektroninės sistemos prototipas žmogaus hidratacijos pokyčių stebėsenai. Nr. 09.3.3-LMT-K-712-25-0089

Šio projekto tikslas – skatinti studentų pasirengimą vykdyti mokslinius tyrimus ir tobulinti mokslinę kvalifikaciją.

Mokslinių tyrimų metu bus sukurta ir iširta dėvima elektroninė sistema, skirta atpažinti ir sekti žmogaus hidratacijos pokyčius.

Projekto vykdymo laikotarpis: 2021-09-01 – 2022-03-31

Finansuojamas Europos socialinio fondo lėšomis pagal priemonės 09.3.3-LMT-K-712 “Mokslininkų, kitų tyrėjų, studentų mokslinės kompetencijos ugdymas per praktinę mokslinę veiklą”

Projekto vykdytojas:



www.esinvesticijos.lt



Kuriame
Lietuvos ateitį

2014–2020 metų
Europos Sąjungos
fondų investicijų
veiksmų programa