



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Temperatūrinio stimuliavimo įtakos psichologinio streso sukeliamų fiziologinių parametrų pokyčiams analizė

Baigiamasis magistro studijų projektas

Eividas Kavolėlis

Projekto autorius

Doc. Dr. Darius Jegelevičius

Vadovas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Temperatūrinio stimuliavimo įtakos psichologinio streso sukeliamų fiziologinių parametrų pokyčiams analizė

Baigiamasis magistro studijų projektas

Biomedicininė inžinerija (6211EX002)

Eividas Kavolėlis

Projekto autorius

Doc. Dr. Darius Jegelevičius

Vadovas

Lekt. Dr. Andrius Petrėnas

Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Eividas Kavolėlis

Temperatūrinio stimuliavimo įtakos psichologinio streso sukeliamų fiziologinių parametrų pokyčiams analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Eivido Kavolėlio, baigiamasis projektas tema „Temperatūrinio stimuliavimo įtakos psichologinio streso sukeliamų fiziologinių parametrų pokyčiams analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kavolėlis, Eividas. Temperatūrinio stimuliavimo įtakos psichologinio streso sukeliamų fiziologinių parametru pokyčiams analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Darius Jegelevičius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: temperatūrinis stimuliavimas, šaltas stimuliavimas, neinvazinis stimuliavimas, vagus nervas, streso vertinimas.

Kaunas, 2019. 54 p.

Santrauka

Per didelis streso lygis kasmet paveikia vis daugiau žmonių pablogindamas jų gyvenimo kokybę. Stresas jaučiamas ne tik kiekvieno žmogaus individualiai, tačiau kaštai darbdaviams bei sveikatos institucijoms dėl didelio visuomenės streso lygio vis auga. Stresą bandoma valdyti psichologiniu pasirošimu ar meditacija, tačiau, nors tam tikrais atvejais tai gali padėti, šie metodai nėra itin efektyvūs. Tiriant žmogaus emocijas būsenas randama vis daugiau ryšių tarp šių būsenų bei fiziologinių parametru. Rasti ryšiai tarp žmogaus patiriamo streso bei širdies ritmo pokyčių, odos prakaitavimo bei panašių fiziologinių parametru. Be to, radus ryšius tarp šių fiziologinių parametru bei realių biologinių strukturu, atsirado galimybė manipuluojant biologinėmis struktūromis paveikti fiziologinius parametrus. Šiame darbe tiriama biologinės struktūros, vagus nervo, temperatūrinio stimuliavimo įtaka stresą indikuojančių parametru pokyčiams. Šiam tikslui pasiekti pagaminta aparatinė įranga, kuri leidžia realiu laiku keičiamais parametrais atlikti Peltjė elementais įgyvendintą temperatūrinį vagus nervo stimuliavimą. Siekiant nustatyti, kokie stresą indikuojančių fiziologinių parametru pokyčiai yra stebimi, sukurtas tyrimo protokolas užtikrinantis ramybės ir streso būsenų gavimą. Atlikus tyrimą su 12 tiriamųjų nustatyta kiek ir kokie širdies ritmo variabilumo, elektroderminio aktyvumo bei fotopletizmografiniai parametrai labiausiai kinta tarp ramybės ir streso būsenų. Vertinant širdies ritmo variabilumo parametru pokyčius tarp ramybės ir streso būsenų didžiausi pokyčiai buvo stebimi širdies ritmo dažnyje, aukštų dažnių energijos, bendros energijos bei žemų ir aukštų dažnių energijos santykio parametruose. Visi tirti elektroderminio aktyvumo parametrai pasižymėjo ženkliais skirtumais tarp ramybės ir streso būsenų. Tiriant fotopletizmografinius duomenis nustatyta, kad skirtingos spalvos šviesą skleidžiantys diodai pasižymėjo skirtingais streso ir ramybės būsenų vertinimais. Nustatyta, kad 2 iš 5 tyrime naudotų skirtingos spalvos diodų suteikė informaciją apie ramybės ir streso būsenų skirtumus. Analizuojant temperatūrinio stimuliavimo įtaką nustatyta, kad skirtumai tarp identiškų tyrimo sąlygų, vieną kartą atliekant stimuliavimą, kitą kartą nestimuliuojant, buvo pastebimi. Trys parametrai: žemų dažnių energija, žemų ir aukštų dažnių energijų santykis bei elektoderminio aktyvumo vidutinės vertės, pasižymėjo skirtumais tarp stimuliuojamų ir nestimuliuojamų periodų. Šie skirtumai buvo tokie kaip ramybės ir streso būsenų vertinime, ramybės būseną prilyginant stimuliavimo laikotarpiui, o ne stimuliavimo laikotarpį didesnio streso lygio būsenai. Tai reiškia, kad naudotas temperatūrinis stimuliavimas dalį tirtų fiziologinių parametru įtakojo sumažindamas jų streso lygio požymius.

Kavolėlis, Eividas. Analysis of thermal stimulation influence on psychological stress induced physiological parameter changes. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Darius Jegelevičius; Faculty of Electrical and Electronics, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: thermal stimulation, cold stimulation, non-invasive stimulation, vagus nerve, stress assessment.

Kaunas, 2019. 54 pages.

Summary

Stress affects more people each year negatively influencing their quality of life. Stress should not be considered just as a personal problem, the costs associated by increasing stress levels are a burden to employers and health care facilities. Common ways to reduce stress levels are meditation and mental preparation techniques, and while in some cases these methods can help, they are not fully effective or easy to implement. Increasing understanding of human biology provides more information about the connections between emotional states and physiological parameters. It is now known that stress affects the heart, sweat glands and numerous more bodily systems. Additionally, connections between these systems and biological structures of the body have been found, and it is shown that manipulation of biological structures can influence physiological parameters. This work analyses the effects of thermal stimulation of a biological structure, vagus nerve, on changes of physiological parameters related to stress. To achieve this goal a device was made allowing real time control of thermal stimulation, that is implemented using Peltier elements. In order to test the changes of stress parameters a study protocol was created allowing the collection of calm and stressed state data. The study itself was performed on 12 participants and the changes of heart rate variability, electrodermal activity and photoplethysmography parameters were calculated. When analyzing heart rate variability parameters, it was found that heart rate, the energy of high frequency band, total energy and the ratio of low and high energy changed between calm and stressed states. Electrodermal activity analysis results showed that all parameters associated with this measurement changed significantly between the two analyzed psychological states. Photoplethysmography parameter analysis showed that data from 2 of 5 different light emitting diodes showed changes between calm and stressed states. When analyzing the effects of thermal stimulation between identical parts of the study, the only difference being the effect of stimulation or lack of thereof, changes in measured parameters were observed. Three parameters: the low band energy and the ratio of low and high band energy of heart rate variability, and the mean value of electrodermal activity changed when comparing thermally stimulated and non-stimulated periods. These differences were the same as the ones observed in the comparison of calm and stressed states, if stimulated timeframe is equated to calm state and non-stimulated timeframe is equated to stress state. This means that thermal stimulation affected some of the analyzed parameters in a way that indicates a reduction of stress level.

Turinys

Įvadas	7
1. Psichologinio streso bei jo nustatymo ir valdymo metodų literatūros analizė	8
1.1. Psichologinis stresas	8
1.1.1. Streso vertinimas	9
1.1.2. Širdies ritmo variabilumas.....	9
1.1.3. Elektroderminis aktyvumas	11
1.1.4. Chirurginis streso indeksas.....	13
1.2. Streso valdymas.....	13
1.2.1. Vagus nervas bei jo stimuliavimas	14
1.2.2. Invazinis stimuliavimas	15
1.2.3. Neinvazinis stimuliavimas.....	16
1.2.4. Perspektyvios stimuliavimo technologijos	18
1.3. Apibendrinimas	20
2. Metodai	21
2.1. Pagaminta įranga	21
2.1.1. Krūtinės duomenų registratorius	22
2.1.2. Kaklo stimulatorius	23
2.1.2.1. Stimuliacijos galimybės.....	24
2.1.3. Valdymo blokas.....	26
2.1.3.1. Registruojami signalai	27
2.2. Tyrimų metodika	28
2.2.1. Atliekami testai.....	29
2.3. Duomenų analizė	31
2.3.1. Širdies ritmo variabilumo analizė.....	31
2.3.2. Fotopletizmogramos analizė.....	31
2.3.3. Elektroderminio aktyvumo analizė.....	32
2.3.4. Statistinis duomenų apdorojimas.....	33
2.4. Apibendrinimas	33
3. Rezultatai	35
3.1. Streso būsenos vertinimas	35
3.2. Temperatūrinio stimuliavimo poveikio analizė.....	40
3.3. Temperatūrinio stimuliavimo poveikis atsižvelgiant į išskirtinius atvejus	43
4. Diskusija	46
Išvados	48
Literatūros sąrašas	49
Priedai	55
1 priedas. Gauti HRV parametrai kiekvieno tyrimo etapo metu	55
2 priedas. HRV parametrų vidurkiai bei SN skirtingų tyrimo periodų metu	56
3 priedas. Gauti elektroderminio aktyvumo parametrai kiekvieno tyrimo etapo metu	57
4 priedas. EDA parametrų vidurkiai bei SN skirtingų tyrimo periodų metu.....	58
5 priedas. Gauti chirurginio streso indekso parametrai kiekvieno tyrimo etapo metu	59
6 priedas. Fotopletizmogramos parametrų vidurkiai bei SN skirtingų tyrimo periodų metu.....	60

Įvadas

Psichologinis stresas neatsiejama modernaus kasdieninio gyvenimo dalis. Spartėjant gyvenimo ritmui didėja ir atliekamų darbų skaičius dienotvarkėje, o jiems įgyvendinti reikalingas laikas nekinta. Todėl nenuostabu, kad nespėjant įveikti visų keliamų reikalavimų žmonės dažniau jaučia didelį psichologinį stresą ar išsekimą. Yra įrodyta, kad patiriamas psichologinis stresas pablogina gyvenimo kokybę ar net gali sukelti sveikatos sutikimus [1,2]. Tai pasireiškia nemiga, nuolat juntamu nuovargiu, padidėjusiu streso lygiu, kurie gali privesti prie depresijos. Nustatyta, kad kai kuriais atvejais 33 % aukštą streso lygį patiriančių asmenų jau turi depresijos simptomus [3]. Tyrimo atlikto JAV metu nustatyta, kad 37 % jaunų žmonių per mėnesį patiria didelio streso situacijas, be to, jų pranešamas streso lygis yra aukštesnis nei vyresnio amžiaus žmonių [4]. Ši problema nėra mažėjanti. Jaunesnio amžiaus žmonės su stresu susiduria daugiau nei ankstesnės kartos bei pasižymi sunkumais su šios psichologinės būsenos valdymu.

Dažniausios streso priežastys yra profesinės: nepasitenkinimas darbu, aplinka jame, kartu dirbančiais žmonėmis, arba finansinės: nepakankamas darbo užmokestis, nežinomybė dėl ateities [5]. Pranešama, kad Jungtinėje Karalystėje su dideliu stresu darbinėje aplinkoje susiduria 0,6 milijono žmonių, o streso lygis, nerimas ar depresija sudaro 57 % visų neatvykimo į darbą priežasčių per metus [6]. 2013 metais Europai su darbu susijęs stresas bei depresija kainavo 617 milijardo eurų, į kuriuos įskaičiuojama praradimai darbdaviams dėl neatliktų darbų, produktyvumo sumažėjimo, sveikatos įstaigų išlaidų [7]. Atsižvelgiant į tai darbinėse aplinkose yra siekiama sumažinti patiriamą stresą. Įmonėse rengiami įvairūs susirinkimai ir seminarai streso valdymo tema, mokoma meditacijos ar panašių streso valdymo būdų, kurie nuolat praktikuojami gali padėti suvaldyti stresą [8]. Nemažai daliai streso valdymo psichologinio pasiruošimo pratimų reikia skirti daug laiko, kas ne visada yra lengvai pasiekama, o alternatyvų kol kas nėra.

Kadangi stresas yra opi problema, ieškoma būdų kaip gerinti gyvenimo kokybę esant šioje psichologinėje būsenoje. Radus ryšius tarp įvairių fiziologinių parametrų bei streso, atsirado galimybė objektyviai vertinti stresą ne vienu skirtingu metodu. Tai leidžia lengviau įgyvendinti tyrimus, kurių metu tiriama pašalinių veiksnių įtaka patiriamam stresui. Dėl to galima objektyviai vertinti, kas gali būti naudojama šiai psichologinei būsenai valdyti, o kas – ne. Žinant kuo stresas susijęs su autonomine žmogaus nervų sistema, atsirado galimybė taikyti metodus, kurie šią sistemą veikia priešingai nei sukeliamas stresas.

Darbo tikslas – išanalizuoti temperatūrinio stimuliavimo poveikį fiziologinių psichologinio streso parametrų pokyčiams. Pagrindiniai **darbo uždaviniai**:

1. sukurti aparatinę įrangą poveikio sukėlimui ir signalų registravimui;
2. sudaryti tyrimo protokolą temperatūrinio stimuliavimo efektui tirti;
3. sukurti signalų apdorojimo metodiką temperatūrinio poveikio fiziologiniams parametrų analizei.

1. Psichologinio streso bei jo nustatymo ir valdymo metodų literatūros analizė

1.1. Psichologinis stresas

Greitėjantis gyvenimo ritmas sukelia vis daugiau situacijų, kuriose žmonės susiduria su stresu. Stresas gali būti apibrėžiamas kaip atsakas reikalavimams, kurie keliami organizmui iš aplinkos, o psichologinio streso atveju, tai situacijos, kuriose kyla grėsmė asmens socialinei būsenai ar atliekant kitų vertinamas, tikslui orientuotas užduotis [9]. Psichologinis stresas ir nerimas kasmet yra patiriamas vis didesnės žmonių dalies, daugiausiai paveikiami yra 18–35 metų grupės žmonės [10]. Šios amžiaus grupės žmonių patiriančių stresą skaičius vis kyla ir jie turi daugiausiai sunkumų dėl streso valdymo [3,6].

Streso būsenos metu stebimi autonominės nervų sistemos pokyčiai, padidėja simpatinės nervų sistemos aktyvumas parasimpatinės nervų sistemos atžvilgiu. Kai iki smegenų atkeliauja stresinis dirgiklis, pagumbrius suaktyvina simpatinę nervų sistemą. Dėl suaktyvėjusios simpatinės nervų sistemos padidėja adrenalino išskyrimas į kraujotaką, dėl to padažnėja širdies ritmas, padidėja kraujo spaudimas. Pakyla ir energijos, reikalingos šiems pokyčiams vykti, poreikis, todėl pradedama greičiau kvėpuoti, padidėja gliukozės ir riebalų išskyrimas į kūną iš jų saugojimo vietų. Po šio staigaus reiškinio pagumbrio-hipofizės-antinksčių ašis palaiko padidėjusio aktyvumo būseną iki kol stresą sukeliantis dirgiklis tampa nebeaktyvus. Įprastomis sąlygomis organizmo atsistatymas po stresinės situacijos priklauso nuo aplinkos, kurioje žmogus yra. Dažniausiai per 5–7 minutes streso lygis sumažėja iki lygio, kuris yra pastovus esamoje aplinkoje [11]. Chroninio streso atveju pagumbrio-hipofizės-antinksčių ašis nepraranda aktyvumo ir organizmas nuolat laikomas padidėjusio aktyvumo būsenoje [12,13].

Pagrindinės streso priežastys kasdieniniame gyvenime yra darbinės: per dideli darbo krūviai, santykiai su kolegomis, viršininkais, toliau minimos piniginės priežastys: baimė netekti pajamų šaltinio, nežinomybė dėl ateities galimybių, medicininės išlaidos [5]. Tyrimų, kurių metu stebimas žmogaus organizmo atsakas į stresą, tikslais tokios situacijos nėra lengvai atkartojamos, todėl tyrėjai yra sukūrę ne vieną metodą streso būsenai sukelti tyrimų metu. Vienas dažniausiai cituojamų metodų šiam tikslui pasiekti yra „Trier Social Stress Test“ (TSST) [14]. Jo metu tiriamajam duodama aritmetinė užduotis, kurios atlikimą prižiūri tyrimus vedantis asmuo. TSST testo metu tiriamajam duodamas neigiamas grįžtamasis ryšys – padarius klaidą skaičiuojant, tyrimą prižiūrintis asmuo praneša apie klaidą ir prašo skaičiuoti nuo pradžių. Dažnai aritmetinė užduotis yra atimti duotąjį skaičių iš kito duotojo skaičiaus iki kol įvedama klaida. Kaip alternatyvos tokiam aritmetiniam skaičiavimu gali būti taikomos ir kitokios aritmetinės užduotys, pavyzdžiui, daugybos operacijos, sudėtiniai skaičiavimai. Siekiant padidinti sukeliama streso lygį prie aritmetinių skaičiavimų gali būti pridedamos ir atminties užduotys, kur duodami skaičiai, po to prašoma juos pakartoti atitinkama tvarka, jiems atlikus aritmetines operacijas, pavyzdžiui, *Kaheman ADD3* [15] ar panašaus pobūdžio užduotys.

Aritmetinės operacijos nėra vienintelis būdas sukelti stresą. „Stroop Color Word Test“ (SCWT) [16] atveju stresas keliamas tikrinant tiriamojo kognityvinius gebėjimus. Šį testą sudaro trys dalys: pirmoje dalyje tiriamasis turi nurodyti, kokia spalva parašyta, antrajame etape reikia nurodyti, kokia spalva yra pavaizduota, ir trečiajame etape reikia pasakyti, kokia spalva yra parašytas kitos spalvos žodis, pavyzdžiui, jei žodis „žalia“ parašytas mėlyna spalva tiriamasis turi nurodyti, kad atsakymas yra „mėlyna“. Yra ištirtos organizmo reakcijos sukeltiant stresą tiek atliekant aritmetinių skaičiavimų

testus tiek su SCWT testais [17]. Vieno tyrimo metu [18] palyginus SCWT su aritmetiniais skaičiavimais, nustatyta, kad SCWT autonominę nervų sistemą paveikė labiau nei aritmetiniai skaičiavimai. Verta paminėti, kad tyrimo metu kaip aritmetinė užduotis buvo duodama sąlyginai paprasta užduotis – trijų skaičių sudėtis siekiant nustatyti ar gautas rezultatas lyginis ar nelyginis.

1.1.1. Streso vertinimas

Daugeliu atvejų stresinė būseną yra jaučiama ir žmogus gali pats pasakyti, kad jis yra streso būsenos. Populiariausi streso vertinimo metodai remiasi pačio žmogaus nuomone apie jo juntamo streso lygį. „The American Institute of Stress“ nuo 1998 metų naudoja „Workplace Stress Survey“ klausimyną vertindama darbo aplinkos stresą, o kiti tyrėjai kaip alternatyvą dar turi „Brief Job Stress Questionnaire“ [19,20]. Ne darbo aplinkos streso tyrimo atvejais, tarptautinė streso valdymo asociacija rekomenduoja savo sukurtą streso klausimyną [21]. Klausimais grįsti streso vertinimo metodai tiria kaip žmonės vertina pagrindinius, stresą galinčius kelti aspektus, darbo aplinkoje. Be to, tikrinama respondentų savijauta, dažniausiai, per paskutinį mėnesį, kaip galima esančio padidėjusio streso lygio pasekmė.

Klausimais grįsti streso vertinimo būdai yra lengvai prieinami ir atliekami, tačiau jie nepasižymi itin geru streso lygio nustatymu. 2017 metais tirtas [22] „Brief Job Stress Questionnaire“ tinkamumas vertinti streso lygį. Šio tyrimo metu kartu su klausimynu pateikta juntamo psichologinio streso skalė, pagal kurią ir buvo vertinama klausimyno kokybė. Tyrėjai nustatė, kad klausimyno tikslumas 60,5 %, o specifiškumas 88,9 %. Gauti rezultatai sutapo su tyrėjų prognozėmis, todėl iš tokio tipo testų nėra tikimasi daug. Verta paminėti ir tai, kad klausimyno rezultatai buvo lyginami su pačių tiriamųjų pateikiamu jaučiamu bendru streso lygiu, kas galėjo neigiamai paveikti rezultatus dėl prasto respondentų streso lygio vertinimo.

Kaip alternatyva klausimynams, streso būsenos metu yra galimas seilių kortizolio koncentracijos tyrimas [23]. Kortizolis organizme atlieka metabolizmo funkcijas stimuliuodamas kepenis, kurios tada padidina kraujo cukraus lygį. Streso metu kylančio „kovok ar bėk“ atsako metu kortizolis stimuliuodamas kepenis suteikia organizmui reikalingos energijos. Šis kortizolio pakilimas yra siejamas su streso lygio vertinimu. Tačiau kortizolis organizme atsakingas ir už uždegimų gydymą, druskos bei vandens santykio palaikymą kraujyje bei kraujo spaudimo reguliavimą. Dėl šios priežasties padidėjęs kortizolio lygis nebūtinai parodo patiriamo streso lygį.

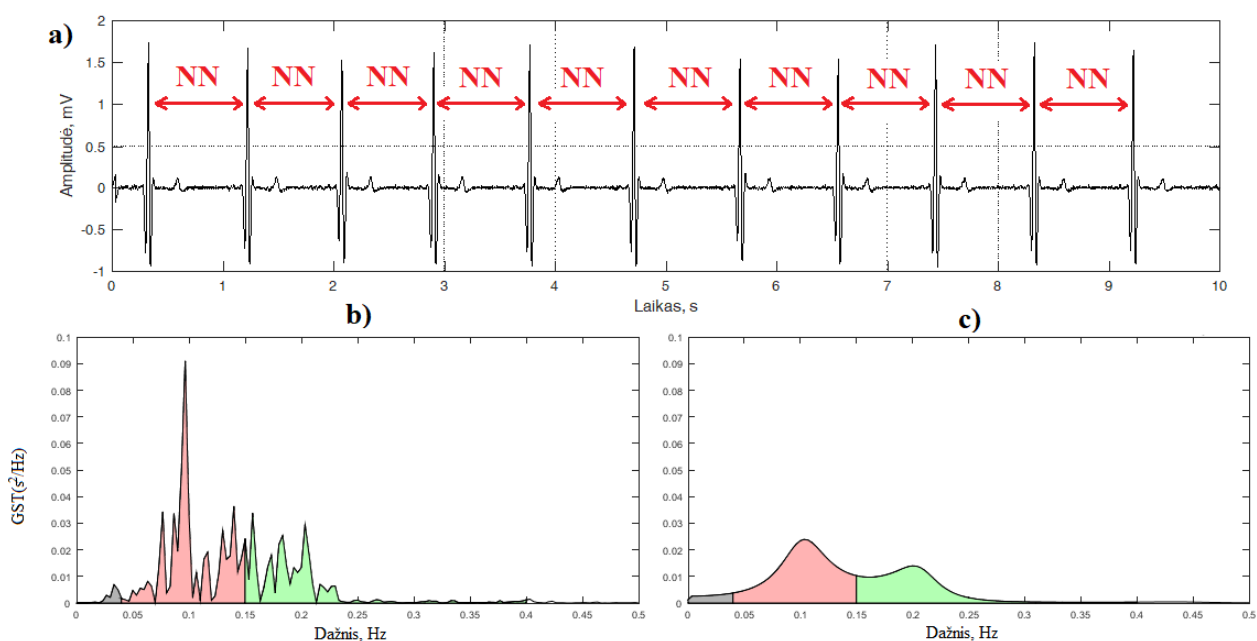
Nors dauguma streso vertinimo apklausų remiasi klausimynais, mokslinių tyrimų metu atsiranda daugiau galimybių vertinti patiriamą stresą. Pagrindinė klausimynų taikymų sritis yra streso vertinimo atvejai, kai nuolatinis tiriamųjų stebėjimas nėra galimas. Dėl šios priežasties nėra ir alternatyvų gauti informacijos apie streso lygį, išskyrus žmonių klausinėjimas apie jų savijautą. Esant galimybei stebėti ir registruoti tiriamojo fiziologinius parametrus streso būsenos metu, atsiranda papildomų galimybių vertinti streso lygį.

1.1.2. Širdies ritmo variabilumas

Vienas sąlyginai naujas tačiau jau gan plačiai taikomas streso vertinimo metodas yra širdies ritmo variabilumo (angl. *heart rate variability* (HRV)) analizė. Šis duomenų apdorojimo būdas remiasi širdies ritmo parametrų vertinimu laiko ir dažnių srityse. Nustatyta, kad širdies ritmo analizė suteikia daug informacijos ne tik apie širdies darbą, tačiau ir papildomus organizmo procesus. HRV gaunamas užregistravus širdies ritmą, pavyzdžiui, naudojantis elektrokardiograma (EKG), ir radus laiko

intervalus tarp kiekvieno širdies susitraukimo, kaip pavaizduota 1 a paveiksle. HRV tyrimo metu širdies ritmo pokyčiai tarp širdies susitraukimų stebimi nuolat ir širdies galimybė nuolat keisti širdies susitraukimų dažnį prisitaikant prie organizmo reikalavimų yra laikoma sveikos širdies požymiu [24]. HRV pastovios emocinės būsenos metu kinta mažiau nei tarp dviejų skirtingų emocinių būsenų, tačiau pokyčiai kelių minučių intervale pastovios emocinės būsenos metu gali būti gal žymūs, pavyzdžiui, širdies ritmo dažnis gali kisti net iki 20 susitraukimų per minutę [25]. Vienas galimų HRV matavimo trūkumų yra tai, jog matavimas remiasi širdies parametrais bei jų stebėjimu, o širdies darbas gali būti įtakojamas daugybės veiksnių. Pavyzdžiui, yra pastebėta, kad moterų menstruacinis ciklas tam tikrais atvejais gali turėti įtakos HRV analizės metu skaičiuojamiems parametrams [26].

Streso vertinimo atveju iš HRV gali būti išgaunama informacija apie simpatinę ir parasimpatinę nervų sistemas. Laikinėje srityje yra keletas parametrų, kurių skaičiavimai remiasi NN intervalų, pavaizduotų 1 paveiksle a grafike, trukmių analize, tiesiogiai susijusių su stresu bei jo vertinimu. Standartinis NN intervalų nuokrypis (SDNN) yra NN intervalų vertinimo būdas parodantis širdies darbo nereguliarumą, kuris yra siejamas su streso būseną. Be to, širdies ritmo intervalų sekančių vienas po kito ir besiskiriančių daugiau nei 50 ms, skaičius (NN50) bei šio skaičiaus santykis, su visais pasirinkto laiko intervalo parametrais (pNN50), siejamas su parasimpatinės nervų sistemos aktyvumu. Teigiama, kad padidėjusios šių parametrų vertės rodo padidėjusį parasimpatinės nervų sistemos aktyvumą. Kvadratinė vienas po kito sekančių širdies intervalų skirtumų šaknis (RMSSD) yra dažnai naudojama trumpų signalo rašymo atkarpų autonominės nervų sistemos aktyvumo vertinimui, nes šio parametro didėjimas taip pat siejamas su didesniu parasimpatinės nervų sistemos aktyvumu [27,28].



1 pav. Širdies ritmo variabilumo tyrimo metu tiriamų signalų pavyzdžiai, kur a) elektrokardiogramos signalas su pažymėtais NN intervalais, b) ir c) RR intervalai dažnių srityje pavaizduoti taikant atitinkamai Welch periodogramą ir autoregresinį spektrą, kur pilka spalva labai mažų dažnių sritis, raudona – žemų dažnių sritis, žalia – aukštų dažnių sritis.

Dažnių srityje taip pat yra parametrų susijusių su streso vertinimu. Galios spektro tankis yra dažnių srities parametras, kuris apibūdina kaip spektro galia pasiskirsčiusi dažnių srityje. Šiuo parametru

gauta informacija gali būti naudojama atskirti simpatinės ir parasimpatinės sistemų aktyvumus. Autonominės nervų sistemos aktyvumas vertinamas pagal gaunamo galios spektro pasiskirstymą. Įprasta galios spektrą skaidyti į tris dalis: labai žemų dažnių sritis (iki 0,04 Hz), žemų dažnių sritis (0,04–0,15 Hz) ir aukštų dažnių sritis (0,15–0,4 Hz). Vizualiai tai pavaizduota 1 paveiksle c ir d grafikuose. Didesnis galios tankis žemų dažnių srityje siejamas su didesne simpatinės nervų sistemos įtaka, o padidėjimai aukštos galios srityje siejami su parasimpatinės nervų sistemos aktyvumu.

HRV stresui vertinti bandoma pritaikyti jau ne vieną dešimtmetį, todėl galima rasti įvairių tyrimų naudojantis šiuo metodu. 2012 metais atliktos meta-analizės metu [29] analizuojant HRV vertinimo tyrimus kartu su neurovaizdinimu apžvelgti 8 tyrimai šia tema. Bendra tyrėjų išvada yra tokia, kad HRV gali būti naudojamas gauti informaciją apie žmogaus psichologinius ar emocinius pokyčius. Kito atlikto tyrimo metu ieškota priklausomybės tarp HRV parametrų, streso klausimynų bei seilių kortizolio koncentracijos [23]. Šio tyrimo metu nustatyta, kad HRV atitiko klausimynų gautus rezultatus tose jų dalyse, kuriose teiraujamasi apie neigiamas emocijas bei socialines problemas. Kitos meta-analizės metu [30] tirta kokie HRV parametrai kito 37 tyrimų susijusių su streso analize metu. Jos metu nustatyta, kad HRV parametrais tiriant streso poveikį organizmui širdies ritmas kito didžiojoje tyrimų dalyje, kiti dažnai stebėti pokyčiai buvo žemų ir aukštų dažnių srities energija bei šių energijų santykis, rečiau pastebėti skirtumai buvo SDNN, RMSSD, pNN50 bei TINN, kuris apibūdina NN intervalų histogramą, parametrų analizėje.

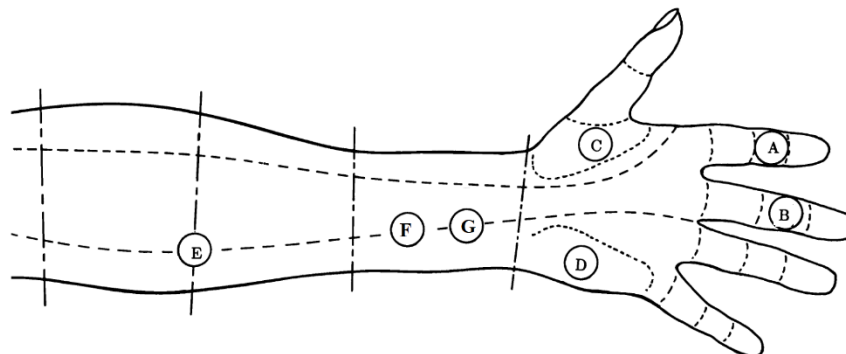
1.1.3. Elektroderminis aktyvumas

Kitas nuolatinio stebėjimo streso vertinimo metodas yra elektroderminis odos aktyvumas (angl. *electrodermal activity* (EDA)). Pirmą kartą EDA ar galvaninis odos atsakas buvo panaudotas 1966 metais. Reikia paminėti, kad galvaninis odos atsakas yra neberekomenduotinas naudoti šio reiškinio apibūdinimas, nes šis pavadinimas daro prielaidą, kad oda yra galvaninis elementas, kas yra netiesa, o kita prielaida apie tai, kad šis reiškinys yra tarsi refleksas, iki galo neapibūdina elektroderminio odos aktyvumo reiškinio [31].

Šis matavimas remiasi odos savybe keisti elektrinį laidumą, kuris kinta priklausomai nuo odos prakaito išskyrimo. Odos prakaitavimas nėra valdomas aktyviai – už odos laidumą atsakinga simpatinė nervų sistema. Matavimas gali būti vykdomas nenaudojant elektrinės srovės, toks matavimas vadinamas endosomatiniu, tačiau daugeliu atvejų naudojama elektros srovė ir gaunamas eksosomatinis matavimas. Teoriškai galima matuoti tiek nuolatine, tiek kintamąja srove. Jei nuolatinės srovės matavimo atveju naudojama įtampa išlaikoma vienoda, tada matavimo metu gaunami tik odos laidumo parametrai, jei išlaikoma pastovi srovė – gaunamas odos varžos parametras. Analogiškai ir su kintamosios srovės matavimu, jei palaikoma pastovi įtampa, gaunama informacija apie odos admitansą, jei palaikoma pastovi srovė – gaunama informacija apie odos impedansą [31].

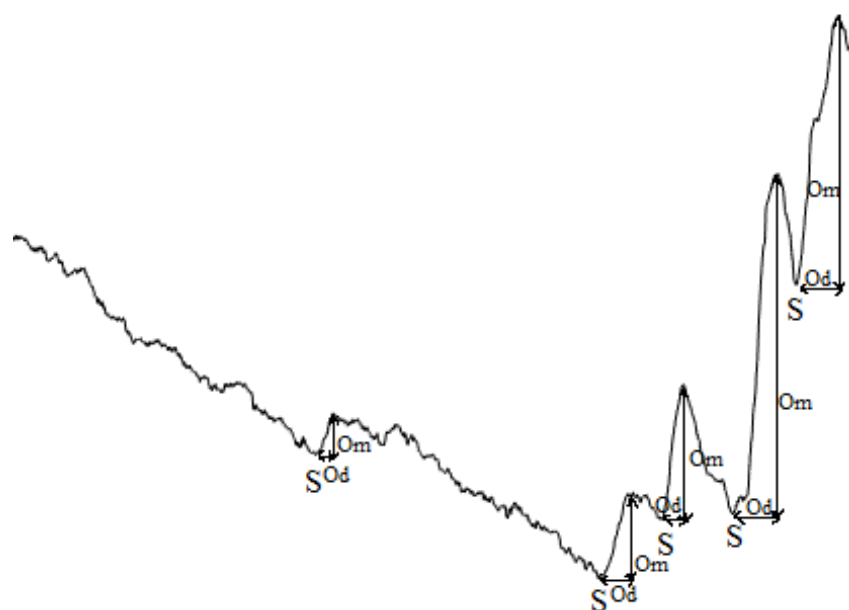
Daugeliu atvejų EDA matavimas vykdomas naudojant du elektrodus. Eksosomatinio matavimo atveju naudojami du aktyvūs elektrodai, endosomatinio matavimo atveju vienas aktyvus elektrodas ir vienas neaktyvus. EDA matavimo sritys yra riešas, delnas arba rečiau pėdos [32]. Keletas matavimo taškų pavaizduoti 2 paveiksle. Elektrodo uždėjimas ant pirštų, kaip pavaizduota 2 paveiksle A ir B, yra viena patraukliausių tyrimų vietų dėl paprasto elektrodo tvirtinimo, pakankamo dydžio patalpinti daugelį rinkoje prieinamų elektrodo dydžių bei sąlyginai mažiau sužeistų ar randuotų vietų. Nesant galimybės naudoti pirštus, naudojamos 2 paveiksle pavaizduotos C ir D sritys. Atliekant bet kokius

delno judesius delno vidury yra deformuojamas labiausiai. Dėl šios priežasties prarandamas kontaktas tarp elektrodo ir odos, todėl ši sritis yra nerekomenduotina EDA matavimuose. Populiarėjant išmaniesiems laikrodžiams dažniau pradėtos taikyti sritys 2 paveiksle pažymėtos F ir G taškais. Endosomatinio tyrimo metu, kaip neaktyvaus elektrodo vieta yra naudojama 2 paveiksle pavaizduota E sritis.



2 pav. Elektrodo išdėstymas EDA tyrimo metu ant rankos. Adaptuota iš [31]

EDA gali būti vertinamas keliais parametrais. Dažnas šio tyrimo vertinimo būdas yra tiesiog lyginti skirtingų laiko periodų signalų vidutines vertes. Padidėjusi streso ar susijaudinimo būsena padidina prakaito išsiskyrimą, dėl to matomas elektrinio laidumo padidėjimas. Kaip alternatyva vidutinių verčių lyginimui gali būti naudojama sujaudinimo momentų analizė. Vizualiai tai parodyta 3 paveiksle, kur matomas trumpas laiko intervalas su penkiais sujaudinimo momentais, kurių pradžios pažymėtos S. Vertinant šiuos momentus, tiksliau jų trukmes (O_d), amplitudes (O_m), plotus po sujaudinimo momentų kreivėmis bei pačių sujaudinimo momentų dažnius per pasirinktą laiko tarpą, taip pat galima vertinti padidėjusio streso ar susijaudinimo lygio laikotarpius.



3 pav. EDA analizės metu matuojamų susijaudinimo momentų S matuojami parametrai O_d ir O_m

EDA yra gan plačiai tyrimuose naudojamas streso vertinimo metodas. Tiriamas EDA streso vertinimo tinkamumas įvairiems stimulams, pavyzdžiui, 2013 metais atlikto tyrimo metu [33] ieškota, kokie šio

matavimo skirtumai yra stebimi vertinant grėsmę iš vaizdų, garsų, bei šnekamosios kalbos. Nustatyta, kad EDA visais atvejais galėjo būti naudojamas atskiriant kada vaizdas, garsas, ar sakinytis yra grėšmingas ir kada neutralus. Šio tyrimo metu pastebėta, kad buvo tyrimo dalyvių, kuriems EDA visada buvo pastovus ir nereagavo į jokią stimulą. Kiti tyrėjai [34] bandė nustatyti ar EDA gali būti naudojamas ne tik atskirti ar patiriamas stresas ar ne, tačiau ir vertinti stresinės situacijos lygį. Tiriamiesiems buvo sukeltos dviejų skirtingų streso lygių būsenos naudojantis virtualia realybe ir buvo nustatyta, kad EDA sėkmingai atskyrė neutralią, mažesnio bei didesnio streso būsenas. Šiame tyrime nepranešama apie atvejus, kai EDA nereaguoja į tiriamųjų patiriamus emocinius ir psichologinius pokyčius. Be to, šio tyrimo metu kartu buvo naudotas ir HRV vertinimas. Tyrėjų duomenimis abu metodai sėkmingai atskyrė skirtingus streso lygius, tačiau teigiama, kad HRV pasižymėjo didesniu tikslumu.

1.1.4. Chirurginis streso indeksas

Populiarėjant išmaniesiems įrenginiams plinta jų naudojimas bei sparčiai vystomos šios srities technologijos. Dauguma išmaniųjų aparatų be laiko, gali apskaičiuoti kiek žingsnių nueinama bei koks dabartinis širdies susitraukimų dažnis. Širdies ritmas nustatomas naudojantis fotopletizmografija, kuri leidžia naudojant paprastus ir mažus optinius sensorius neinvaziškai vertinti kraujo srautą. Ši technologija gali būti naudojama ne tik vertinti koks dabartinis širdies susitraukimų dažnis, tačiau ir papildomiems parametrams gauti.

Vienas jų yra chirurginis streso indeksas (angl. *Surgical stress index* (SSI)). Šis parametras taikomas sekti žmonių patiriamo streso lygį chirurginių operacijų metu, kai žmogus yra be sąmonės. Matematiškai, tai sąlyginai nesudėtingas streso lygio vertinimo būdas – reikia sekti fotopletizmografinių bangų amplitudę (PPGA) bei laiko intervalus tarp širdies susitraukimų (HBI). Tada šios vertės normalizuojamos, pritaikoma (1) formulė ir gautas chirurginio streso indeksas (SSI) yra naudojamas streso būsenos vertinimui [35]:

$$SSI = 100 - (0.7 * PPGA_{norm} + 0.3 * HBI_{norm}) \quad (1)$$

Pletizmogramos amplitudės bei širdies ritmo histogramos normalizavimas atliekamas intervale nuo 0 iki 100. Kadangi normalizuotos reikšmės pasiskirstę intervale nuo 0 iki 100, gaunamas streso indeksas taip pat pasiskirsto diapazone nuo 0 iki 100, kur didesnė reikšmė reiškia didesnę streso lygį. Atliktame tyrime [36] naudojantis šiuo streso vertinimo metodu nustatyta, kad chirurginių operacijų metu šis rodiklis kinta keičiant anestezinių preparatų koncentracijas, kurie chirurginės operacijos metu naudojami streso lygiui mažinti.

1.2. Streso valdymas

Atsiradus galimybei vertinti stresą ir nustačius, kad per dideli jo lygiai turi neigiamą įtaką žmogui ir jo savijautai, pradėta ieškoti streso valdymo būdų. Dažnai šios psichologinės būsenos valdymui naudojama dėmesingo įsisavinimo metodologija besiremiantys streso valdymo būdai. Tokio tipo užsiėmimai padeda žmonėms atpažinti ir valdyti stresą sukeliančias situacijas, tai pagerina bendrą savijautą ir sumažina stresą keliančių situacijų poveikį. 2009 metais atlikto tyrimo [8] metu nustatyta, kad dėmesingo įsisavinimo streso programos yra daugiau ar mažiau veiksmingos, tačiau, kadangi jos susideda iš pora mėnesių trunkančių programų bei daug sudedamųjų dalių, tyrėjai neįvardijo, kokie streso valdymo aspektai geriausiai padeda valdyti šią psichologinę būseną.

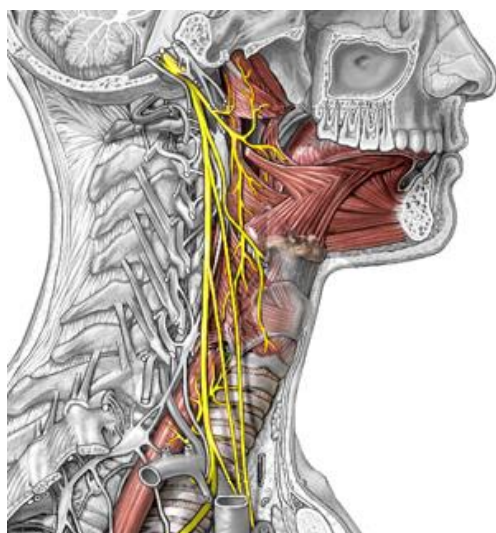
Darbinėse aplinkose dažniausiai organizuojami streso valdymo būdai yra: informaciniai streso seminarai, fizinį aktyvumą didinančios programos, meditacinės ir atsipalaidavimo programos, socialinės paramos grupės ir panašiai. Tyrimo, vertinančio darbo aplinkose organizuojamų streso valdymo programų efektyvumą metu [37], nustatyta, kad efektyviausi metodai buvo dėmesingo įsisavinimo ir elgesio korekcijos užsiėmimai bei alternatyvūs streso valdymo būdai: dienoraščių rašymas, fizinio aktyvumo užsiėmimai, asmeniniai streso valdymo užsiėmimai. Dažniausiai taikomas metodas, meditacija, pasižymėjo vidutiniu efektyvumu streso mažinime, tačiau buvo dažniausiai naudojamas dėl įgyvendinimo paprastumo. Be to, tyrimo metu nustatyta, kad kuo daugiau sudedamųjų dalių įvedama į streso valdymo programą, tuo mažesnis jos efektyvumas.

Aptartų streso valdymo būdų trūkumas yra tai, kad jie yra išankstinio pasiruošimo tipo. Tai reiškia, kad jiems įgyvendinti reikia reguliariai skirti laiko. Tai nėra visada lengvai atliekama, kadangi vienos dažniausiai pasitaikančių padidėjusio streso priežasčių darbinės, kurios gali pasireikšti per dideliu darbo krūviu, todėl reguliariai rasti laiko ne visada yra paprasta. Alternatyvūs būdai leidžiantys realiu laiku keisti stresą sukeliančių būsenų poveikį organizmui vis dar yra kuriami.

1.2.1. Vagus nervas bei jo stimuliavimas

Vagus nervas, dar vadinamas „klajojančiu nervu“ yra ištraukęs į autonominę, kardiovaskulinę, imuninę, kvėpavimo bei kitas svarbias organizmo sistemas. Šiuo nervu perduodama informacija apie temperatūrinius pokyčius, skausmą, spaudimą, uždegimus. Perduodamas sensorinę informaciją, šis nervas valdo homeostatines įvairių organų būsenas [38]. Tai, kad šis skaidulų pluoštas atsakingas už svarbius organizmo procesus žinoma jau seniai, todėl tyrimai ieškantys ryšių tarp šio nervo ir įvairių sveikatos sutikimų atliekami jau ne vieną dešimtmetį. Yra nustatyta, kad vagus nervas turi ryšį su epilepsija, elektriškai veikiant vagus nervą galima sumažinti epilepsinių priepuolių dažnumą [39]. Šis reiškinys aiškinamas tuo, kad taip paveikus vagus nervą įvyksta neuroninės veiklos desinchronizacija ir išsiskiriančio neurotransimterio moduliacija, kuri sumažina epileptinių traukulių dažnumą bei stiprumą [40]. Vagus nervas gali būti naudojamas antiuždegiminiam organizmo atsakui gauti. Šio nervo stimuliacija susilpnina nervu nešamą uždegiminį signalą bei padidina imuninių organų aktyvumą [40]. Be to, nustatyta, kad vagus nervas gali būti naudojamas depresijos terapijai bei parasimpatinės sistemos pokyčiams sukelti, kas siejama su streso lygio pokyčiais [41,42].

Norint išgauti aptartas terapines vagus nervo savybes, reikalinga nervo stimuliacija. Dėl sąlyginai nedideliame gylyje esančio vagus nervo, daugeliu atvejų stimuliavimas atliekamas kaklo ar ausų srityje. Kaip galima įžvelgti 4 paveiksle, šiose srityse vagus nervas su savo atšakomis yra arčiau išorinių organizmo struktūrų, todėl pasiekiamas lengvesnis prieinamumas, kai šį nervą reikia pasiekti invaziškai bei neinvazinių stimuliavimo bandymų atvejais. Nustatyta, kad neinvazinis ausies srities stimuliavimas yra gan ribotas [43]. Stimuliavimas neinvaziškai šioje srityje yra efektyvus tik jei stimuliuojamas ausies kriauklės įduba. Ausies kanalas bei kramslys pasižymi mažesniu stimuliavimo efektyvumu. Kaklo srityje vagus nervo radimą palengvina tai, kad jis yra kartu pulso aptikimo vieta, tik gali keistis kraujagyslių bei nervo vieta karotidinėje erdmėje [44].

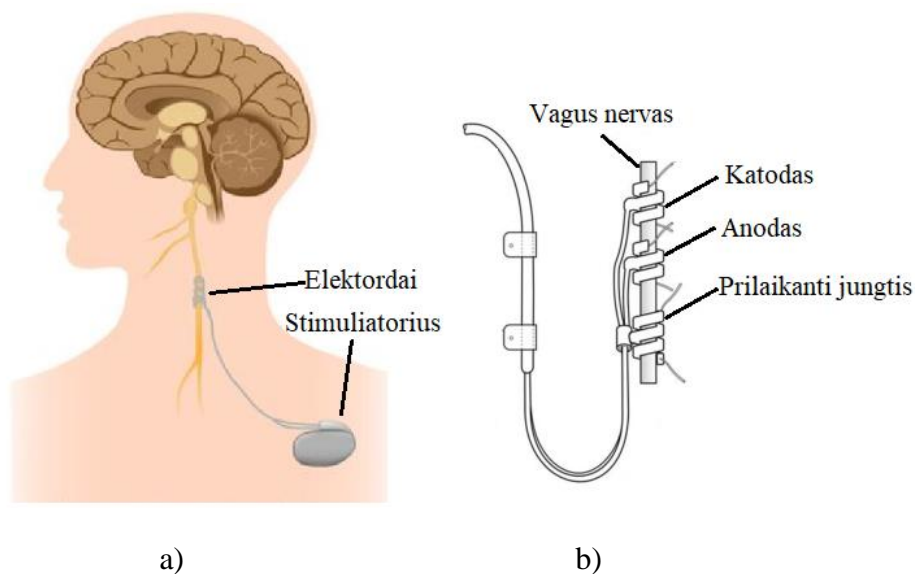


4 pav. Vagus nervas kaklo ir ausies srityje pažymėtas geltona spalva. Adaptuota iš [45]

Pirmieji invaziniai stimulatoriai pasirodė ir gavo reikalingus leidimus naudojimui su žmonėmis, tame tarpe ir pirmuosius leidimus prekiauti Europoje bei JAV, prieš 20 metų. Neinvazinių stimuliatorių gavusių reikalingus leidimus naudojimui su žmonėmis nėra daug.

1.2.2. Invazinis stimuliavimas

Invazinis vagus nervo stimuliavimą (VNS) atliekantis įrenginys yra elektrinius impulsus vagus nervui sukeliantis implantuojamas prietaisas. Invaziniai VNS įrenginiai šiuo metu yra naudojami tik depresijos arba epilepsijos gydymui. Stimulatorius susideda iš pačio stimuliavimą atliekančio įrenginio ir išvadų, kurie jungiami prie vagus nervo, kaip pavaizduota 5 a paveiksle. Prie vagus nervo stimulatoriai pritvirtinami trimis spiralinėmis ritėmis: anodas, katodas ir papildoma prilaikanti jungtis, kaip pavaizduota 5 b paveiksle [46]. Elektrodoi tvirtinami prie kairėje kaklo pusėje esančio vagus nervo, nes dešinysis vagus nervas turi daugiau jungčių su širdimi, dėl to dešinės pusės vagus nervas stimuliuojamas tais atvejais, kai siekiama paveikti širdies darbą [47]. Toliau nuo kaklo, pečių ar krūtinės srityje, yra implantuojamas stimuliuojančius impulsus generuojantis įrenginys.



5 pav. Vagus nervo stimulatorius, kur a) bendra implantuojamo įrenginio struktūra, b) elektrodų jungimas prie vagus nervo. Adaptuota iš [46,48]

Implantuojami stimulatoriai turi ne vieną keičiamą nustatymą, individualizavimui užtikrinti [46]. Gali būti keičiamas naudojamos srovės stipris, signalo dažnis, pulsų trukmės, stimuliavimo aktyvumo bei neaktyvumo laikai. Leidžiamos parametų vertės yra 0,25–3,5 mA stimuliavimo srovės stipris, su keičiamu 0,25 mA žingsniu, 20–30 Hz stimuliavimo dažnis, nes mažesnis nei 10 Hz laikomas neefektyviu, o didesnis nei 50 Hz gali pažeisti nervus. Dažniausiai naudojamos impulsų trukmės yra 0,25–0,5 ms, o aktyvaus stimuliavimo būsenos trukmė 30–60 sekundžių ir 5 minučių neaktyvumo trukmė. Aktyvumo ir neaktyvumo būsenos trukmės gali būti keičiamos ir platesniame diapazone. Esant būtinumui, epilepsinių traukulių metu ar panašiais atvejais, yra galimybė magnetiškai aktyvuoti stimuliavimą nepaisant aktyvumo ir neaktyvumo periodų trukmių.

Su invaziniais metodais yra neatsiejama ir infekcijų bei kitokių neigiamų sveikatos pokyčių rizika. Vien tik implantavimo metu, montuojant elektrodus ant vagus nervo yra padidėjusi tikimybė brachikardijai ir asystolei įvykti. Yra rizika pažeisti balso stygas ilgam bei trumpam laikotarpiams, 62 % chirurginių operacijų atvejų keletą mėnesių po implantavimo operacijos yra stebimi balso pokyčiai [49]. Galimi ir kvėpavimo sutikimai, iki 25 % atvejų po implantavimo stebima dispnėja bei kosulys [49]. Per 25 metus stebint 247 pacientus su implantais nustatyta, kad 8,6 % implantavimo operacijų įvyko komplikacijų [50]. Lyginant mirštamumą tarp žmonių su implantuojamais stimulatoriais bei naudojančių vaistinius preparatus tam pačiam efektui pasiekti didesnių skirtumų nepastebėta [51].

1.2.3. Neinvazinis stimuliavimas

Nereikalaujančių implantavimo VNS įrenginių kol kas nėra daug. Dėl skirtingų saugumo reikalavimų Europoje ir JAV prekiaujama skirtingais įrenginiais. Abiejuose regionuose įsigyti galima tik vieną įrenginį – „gammaCore“. Šis VNS visai neseniai gavo FDA leidimą prekybai JAV, vos po metų nuo to, kai prasidėjo prekyba Europoje. Kitaip nei invazinių stimuliatorių atveju, „gammaCore“ naudojamas klasteriniam galvos skausmui malšinti ir lengvinti galvos skausmą susijusį su migrena. Šis įrenginys naudojamas panašioje kaklo srityje kaip implantuojami invaziniai stimulatoriai, ten kur randamas vagus nervas. Prietaisas pavaizduotas 6 a ir b paveiksluose, kuriuose matomi du metaliniai elektrodai, kurie vertikaliai dedami ant kaklo, kur yra vagus nervas. Gamintojai rekomenduoja susirasti vietą kakle, kur gali būti užčiuopiamas pulsas, nes vagus nervas yra toje pačioje vietoje. Prietaiso veikimas juntamas nevaldomais veido judesiais, ypač lūpų srityje, kur gali būti ir vizualiai pastebimas lūpų kraštų judėjimas „gammaCore“ naudojimo metu.



a)



b)



c)

6 pav. Neinvaziniai vagus nervo stimulatoriai turintys FDA leidimus prekybai JAV, kur a) „gammaCore“ bendras vaizdas, b) „gammaCore“ naudojimo metu, c) „Bridge NSS-2“ naudojimo metu. Adaptuota iš [52,53,54]

Prietaiso veikimas grindžiamas tokiais pat principais kaip ir invazinių stimuliatorių atveju. Tai matoma ir iš stimuliacijos vietos pasirinkimo. Šiame įrenginyje naudojama didesnė srovė siekiant paveikti vagus nervą, kuris, šiuo atveju, yra po oda. Su „gammaCore“ yra atliktas ne vienas tyrimas patvirtinantis šio įrenginio efektyvumą. 2014 metais [55] tirtas „gammaCore“ tinkamumas migrenos būklės gerinimui. Tyrimo trukmė buvo šešios savaitės, kurių metu tiriamieji naudojo „gammaCore“ stimuliaciją du 90 sekundžių truncančius laiko intervalus kas 15 minučių, kai buvo juntamas migrenos sukeltas galvos skausmas. Naudoti vaistinius preparatus buvo galima tik kai skausmas tapdavo itin stiprus. Šio tyrimo metu nustatyta, kad vertinant įvairius migrenos simptomus, „gammaCore“ stimulatoriaus efektyvumas gali būti lyginamas su migrenos būklei gerinti skirtų vaistinių preparatų efektyvumui. Kito tyrimo [56] metu „gammaCore“ buvo naudojamas klasterinio galvos skausmo mažinimui. Tyrimo trukmė buvo 52 savaitės, kurių metu tiriamieji naudojo šį įrenginį po du kartus ryte ir vakare siekiant padidinti klasterinio galvos skausmo prevenciją, bei tris kartus prasidėjus klasteriniam galvos skausmui. Šiame tyrime naudotos stimuliacijos trukmės buvo po 120 sekundžių, o stimuliacija vyko 25 Hz dažniu atliekamais penkiais 5000 Hz impulsais. Daugeliu atvejų prietaisas sumažino patiriamų klasterinių galvos skausmų dažnumą, keletu atvejų jokio efektyvumo nepastebėta. Nei vieno iš aptartų tyrimų metu nepastebėtas žalingas „gammaCore“ įrenginio poveikis.

Kitas neinvazinis VNS įrenginys turintis FDA leidimą prekybai JAV yra „Bridge NSS-2“. Tai yra ausies srityje veikiantis stimulatorius, kaip pavaizduota 6 c paveiksle. Stimuliacija taip pat vyksta elektriniais impulsais. Priešingai nei visi iki šiol aptarti vagus nervo stimulatoriai, šis įrenginys naudojamas ne skausmo ar depresijos būklės gerinimui, o organizmo būsenos, kai juntamas opioidų atmetimas, gerinimui. Gamintojų teigimu, stimuliuojamos ausies sritys veikia reikalingas galvos nervų šakas, prie kurių priskiriamas ir vagus nervas. Šis įrenginys gali sumažinti opioidų atmetimo simptomus, kai kuriais atvejais ir per 10 minučių. Daug publikacijų tiriant šio įrenginio tinkamumą nėra daug, tačiau 2017 [54] atlikto tyrimo metu nustatyta, kad naudojant opioidų atmetimo skalę [57], kur didesnis rezultatas rodo blogesnę savijautą, 73 tiriamųjų vidurkis prieš pradedant tyrimą buvo 20,1 balo, po 20 minučių vidurkis nukrito iki 7,5 balo, po 60 minučių iki 3,1 balo. Naudojantis šiuo įrenginiu 90 % tiriamųjų po 5 dienų galėjo pradėti naudoti vaistines priemones opioidų priklausomybei gydyti, teigiama, kad įprastu atveju tai trunka daug ilgiau.



7 pav. Neinvaziniai vagus nervo stimulatoriai prieinami Europoje, kur a) ir c) „Nemos“ įrenginys bei naudojimo sritis, b) ir d) „SaluStim“ įrenginys bei naudojimo sritis. Adaptuota iš [58,59,60]

Be „gammaCore“ Europoje galima įsigyti dar du vagus nervą stimuliuojančius įrenginius: „Nemos“ ir „SaluStim“. „Nemos“ įrenginys yra naudojamas epilepsijos sukeltamų traukulių bei skausmo mažinimui. Kaip pavaizduota 7 paveiksle a ir c, „Nemos“ irgi yra ausies srityje naudojamas stimulatorius. Su „Nemos“ įrenginiu tyrimai buvo pradėti 2012 metais, vieno jų metu [61], 12 mėnesių laikotarpyje, kai kuriais atvejais šis įrenginys sumažindavo epilepsinių traukulių dažnumą, kitais atvejais – padidindavo. 2018 metais atlikto tyrimo [62] metu nepastebėta jokia „Nemos“ įrenginio įtaka organizmui. „SaluStim“ neinvazinis stimulatorius taip pat naudojamas ausies srityje, tik jo paskirtis yra užimo ar spengimo ausyse mažinimas. Šis įrenginys pavaizduotas 7 b ir d paveiksluose. 2017 metais atlikto tyrimo [63] metu nustatyta, kad „SaluStim“ stimulatorius turėjo įtakos HRV parametrui, kurie siejami su užimo ar spengimo ausyse parametrais.

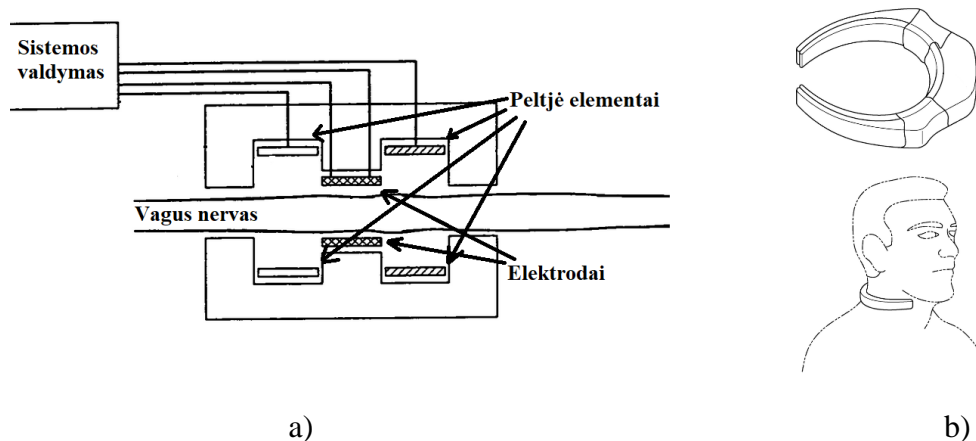
Kaip alternatyva įprastiems VNS įrenginiams yra sukurtas „SENSATE“ [64], kuris vagus nervą stimuliuoja infragarso technologija. Įrenginys naudojamas krūtinės srityje, kur, kaip teigiama, sukeltos vibracijos, kurios kartu su telefono programoje esančiu muzikos grotuvu naudojamos streso mažinimui. Tyrimų su šiuo įrenginiu vertinat streso, ar bet kokio fiziologinio parametro pokyčius, nėra.

1.2.4. Perspektyvios stimuliavimo technologijos

Vagus nervo įtaka žmogaus organizmui tirta ne vieną dešimtmetį, todėl yra rasta ir dar neaptartų stimuliavimo mechanizmų. Temperatūriniai pokyčiai siejami su tam tikrų organizmo nervų, tame tarpe ir vagus nervo, aktyvumo pokyčiais [65]. Temperatūrinis stimuliavimas dažnai naudojamas su sportu susijusiose tyrimų srityse siekiant paspartinti atletų atsigavimą po fizinio aktyvumo periodų. Šių tyrimų tikslas padidinti parasimpatinės nervų sistemos aktyvumą kaip ir įprasto VNS atveju. Dauguma seniau atliktų tyrimų buvo vykdomi naudojant šalto vandens vonias arba šaltas patalpas, kur buvo stebimi parasimpatinės nervų sistemos aktyvumo padidėjimo atvejai [66]. Pastaruoju metu

pradėta tirti atskirų kūno dalių ar tik atskirų sričių temperatūrinio stimuliavimo įtaką parasimpatinės nervų sistemos aktyvumui. Vieno tyrimo metu [67] tiriant parasimpatinės nervų sistemos aktyvumą buvo siejamas vagus nervo stimuliavimas su nardymo refleksu. Jame buvo tirta atskirų kūno sričių šaldymo įtaka širdies ritmo dažniui bei variabilumui. Nors tirtas nardymo refleksas, žmonių ar jų kūno dalių nardymas po vandeniu nebuvo atliekamas. Šiame tyrime buvo naudojamas šalčio efekto reiškinys pasireiškiantis kartu su nardymo refleksu. Pagal tyrėjus, nardymo reflekso metu, šaltis suaktyvina atitinkamus šalčio receptorius ir gaunamas padidėjęs širdies ir vagus nervo ryšio aktyvumas net ir tais atvejais, kai nėra naudojamas vanduo. Šio tyrimo metu pasirinktos tirti kūno vietos buvo kaklo sritis, kaip vagus nervo stimuliavimo įtakos sritis, skruostas, kaip nardymo reflekso įtakos sritis, ir dilbis kaip neutrali atraminė sritis. Temperatūriniam stimuliavimui buvo naudotas Peltjė elementus naudojantis įrenginys. Tyrime nustatyta, kad šaltas stimulus širdies ritmo dažnį bei variabilumą įtakuoja stimuliavimą atliekant kakle, mažiau skruoste ir neturėjo įtakos, kai buvo stimuliuojama dilbio sritis.

Vagus nervo temperatūrinis stimuliavimas gali būti randamas naujuose medicininių įrenginių patentuose. Vieno patento [68] atveju temperatūrinis vagus nervo stimuliavimas yra naudojamas kaip papildomas stimulo šaltinis kartu su elektrinio stimuliavimo įranga. Šiuo atveju stimuliuojanti įranga invaziškai naudojama ant pačio nervo, kaip įprastų elektrinių VNS atveju. Pridėtas temperatūrinis, ir šiuo atveju šaltas, stimulus veikia kaip elektrinio stimuliavimo kryptingumo nustatymas. Veikimas bei struktūra pavaizduoti 8 a paveiksle. Patente teigiama, kad pridėtas šaltas stimulus blokuoja keliamo elektrinio stimulo sklaidimą šaldoma kryptimi. Pagal tai, nerve šalia elektrinio stimulo šaltinio pridėjus šaldančius elementus, patente minimi Peltjė elementai, ir šaldant vieną iš jų, elektrinis stimuliavimas sklis tik viena kryptimi arba bent mažiau šaltai stimuliuojama kryptimi.



8 pav. Vagus nervo stimuliatorių patentų iliustracijos, kur a) implantuojamas vagus nervo šaldymo įrenginys elektrinio stimuliavimo kryptingumui gauti, b) neinvazinis kelių metodų stimulatorius kraujospaudimui valdyti. Adaptuota iš [68,69]

Kitu atveju užpatentuota keleto stimuliavimo metodų sistema [69]. Joje gali būti naudojamas žemos temperatūros, vibravimo, slėgio bei ultragarso stimuliavimas kaklo srityje, kaip pavaizduota 8 b paveiksle. Teigiama, kad toks stimulatorius gali būti taikomas padidėjusio kraujospaudimo reguliavimui. Autorių teigimu padidėjęs kraujospaudimas didina simpatinės nervų sistemos aktyvumą lyginant su parasimpatine, todėl užpatentuotas įrenginys, naudodamas minėtus stimuliavimo būdus, autorių teigimu, turėtų sumažinti nervų sistemų disbalansą ir atstatyti kraujospaudimą į normalų lygį. Temperatūrinio stimuliavimo realizavimui naudojamas Peltjė elementas

kartu su radiatoriumi ir ventiliatoriumi. Autorių siekis yra šaldymas ore iki 5 °C 5–10 minučių intervale.

1.3. Apibendrinimas

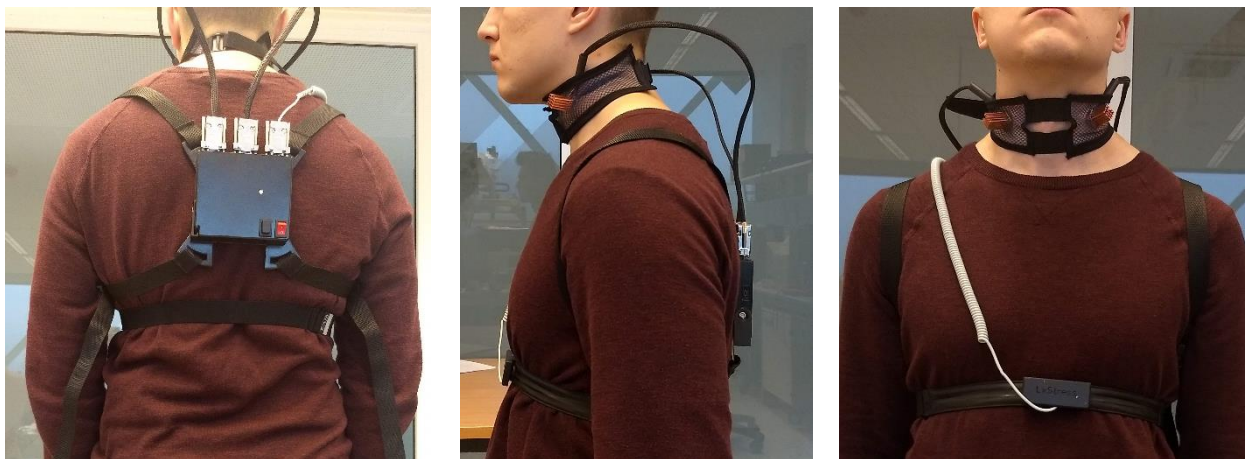
Įvertinus naujausius tyrimus, galima išvelgti neinvazinių stimuliatorių populiarėjimą. Vagus nervas atsakingas už gausybę organizmo funkcijų, kartu ir simpatinės ir parasimpatinės nervų sistemos aktyvumus, kurie yra atsakingi už streso būsenos jautimą bei reakciją į patį stresą. Todėl remiantis atlikta analize, nuspręsta atlikti neinvazinį vagus nervo stimuliavimą. Vagus nervas ne veltui vadinamas „klajojančiu nervu“, jis randamas visose kūno dalyse. Aptarti neinvaziniai prietaisai daugeliu atvejų buvo naudojami šalia ausies esančio vagus nervo stimuliavimui. Tačiau atsižvelgiant į tai, kad prieiga prie vagus nervo yra lengva kaklo srityje ir į tai, kad perspektyviausias neinvazinis VNS įrenginys taip pat naudojamas šioje srityje, šiame tyrime pasirinkta stimuliavimo sritis yra kaklas. Be to, nustatyta, kad ne tik naujausiuose neinvaziniuose VNS prietaisuose, bet vis dažniau ir literatūroje taikomas neelektrinis stimuliavimas. Šio tyrimo metu taip pat pasirinkta naudoti ne elektrinį stimuliavimą, o šaldantį temperatūrinį stimuliavimą.

Šio darbo metu streso būsenos sukėlimui pasirinkti du skirtingo pobūdžio testai. Atsižvelgiant į tai, kad žmonės gali skirtingai veikti skirtingi stresiniai stimulai, didesnė įvairovė testų turėtų padidinti tikimybę sukelti stresinę būseną. Siekiant įvertinti streso valdymo efektyvumą, svarbu stebėti streso lygį. Nors klausimų pagrindu besiremiantys streso vertinimo metodai yra lengviausiai įgyvendinami, siekiant didesnio tikslumo buvo naudojama HRV analizė. Šis metodas suteikia papildomą informaciją apie simpatinės ir parasimpatinės nervų sistemos aktyvumą. Buvo atliekami ir EDA bei SSI matavimai, stebint tiriamųjų streso lygį realiu laiku, siekiant įvesti pakeitimus esant netikslumams tyrimų metu, bei galutinės duomenų analizės metu.

2. Metodai

Atsižvelgiant į gautas „Psichologinio streso bei jo nustatymo ir valdymo metodų literatūros analizės“ skyriaus išvadas, nuspręsta sukurti įrenginį temperatūriniu būdu stimuliuojantį vagus nervą bei registruojantį duomenis streso lygio vertinimui. Užsibrėžti tikslai projektuojamam įrenginiui:

- Galimybė keisti stimuliavimo vietą kaklo srityje;
- Šaldymas iki +10 °C ore ir +20 °C priglaudus prie odos;
- EKG registravimas;
- Diskomforto nesukeliantis sukurto įrenginio naudojimas;
- Stimuliavimo parametrų keitimas realiu laiku.

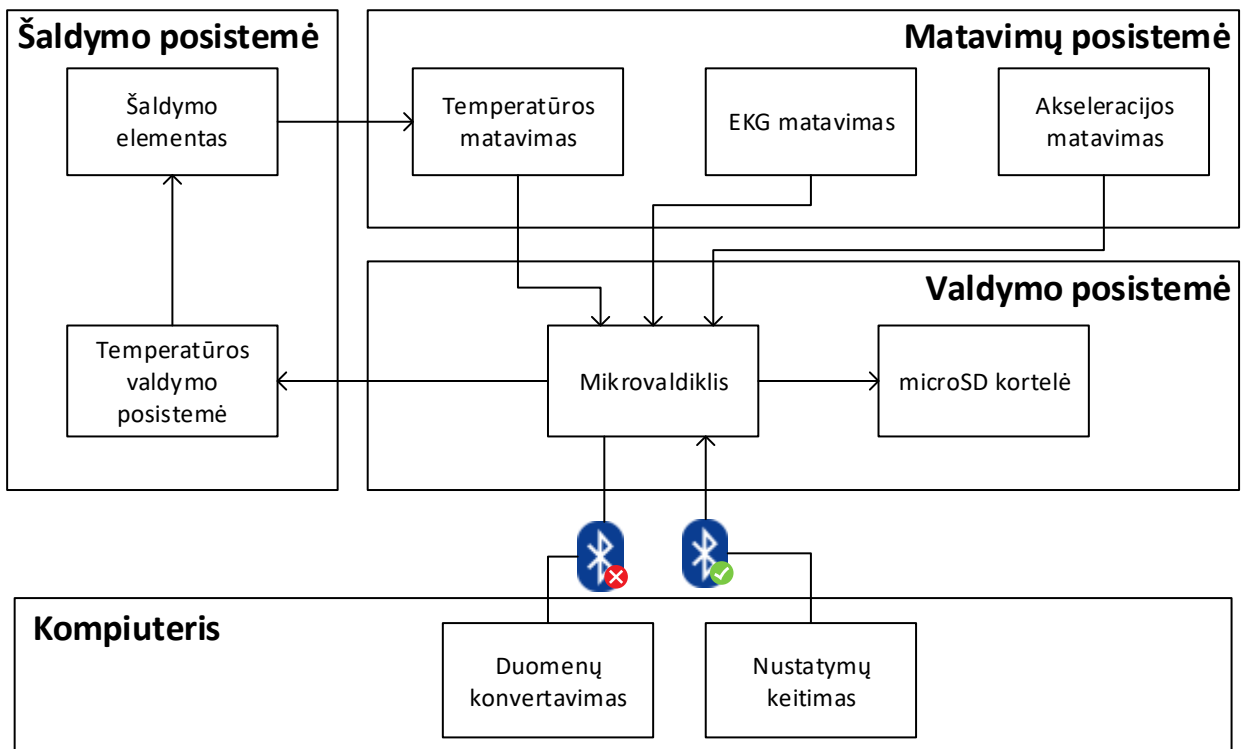


9 pav. Pagaminta įranga ant žmogaus. Paveiksle iš priekio krūtinės diržas dedamas po drabužiais, paveiksle pavaizduotas dėvėjimo būdas tik kaip demonstracinis

Pagaminta aparatinė įranga pavaizduota 9 paveiksle. Toliau esantys skyriai aiškina įrenginio veikimą bei ypatybes. Papildomus streso vertinimo metodus, EDA bei SSI, nuspręsta įgyvendinti naudojant papildomą įrangą. EDA įgyvendintas naudojant „g.tec“ sukurtą „g.MOBILab+“ su elektroderminio odos aktyvumo matavimo priedėliu, kuriuo atliekamas eksosomatinis matavimo būdas naudojantis nuolatinę srovę. SSI vertinimui reikalingas fotopletizmografinis signalas, kuris šio darbo metu registruotas naudojant KTU Biomedicininės inžinerijos institute pagamintą išmanųjį laikrodį.

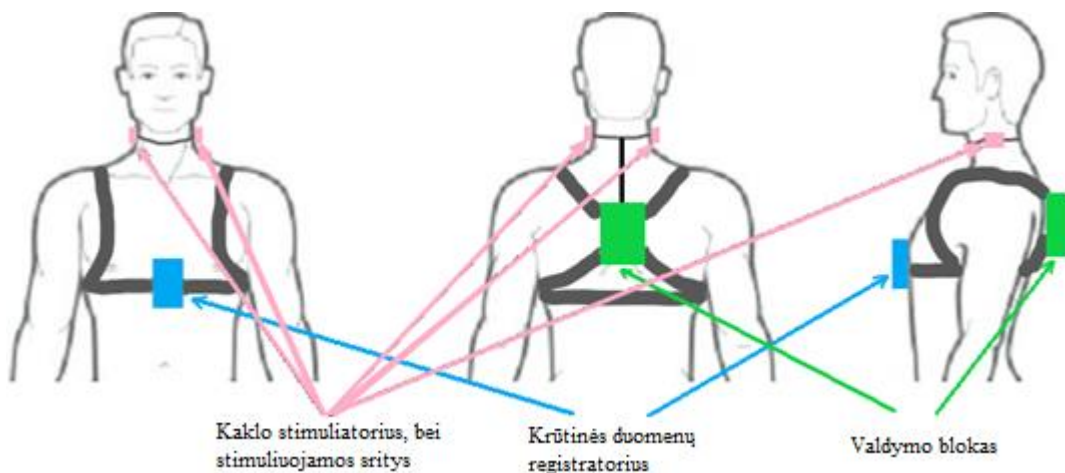
2.1. Pagaminta įranga

Vidinės įrenginio struktūros blokinė schema pateikta 10 paveiksle, kuriame pateiktas supaprastintas sukurtos įrangos veikimo modelis. Jame matoma, kad mikrovaldiklis registruoja visus reikiamus signalus bei įrašo juos į atminties kortelę. Tas pats mikrovaldiklis atlieka ir temperatūros valdymą, kurio įgyvendinimui panaudotas PID (angl. *proportional integral derivative*) algoritmas. Komunikacija su kompiuteriu nustatymų valdymui realiu laiku atliekama *Bluetooth* ryšiu. Kaip matoma struktūrinėje schemoje, kai sukurta įranga nesujungta su kompiuteriu, yra galimybė kompiuteryje atlikti duomenų vertimą į duomenų apdorojimui tinkamą formatą.



10 pav. Pagamintos įrangos vidinės struktūros veikimo blokinė schema

Pagal užsibrėžtus reikalavimus buvo pagamintas įrenginys, kurio struktūra pavaizduota 11 paveiksle. Dėl prietaiso reikalavimų nutarta išskaidyti struktūrą į tris dalis: krūtinės duomenų registratorius, kaklo stimulatorius, valdymo blokas.

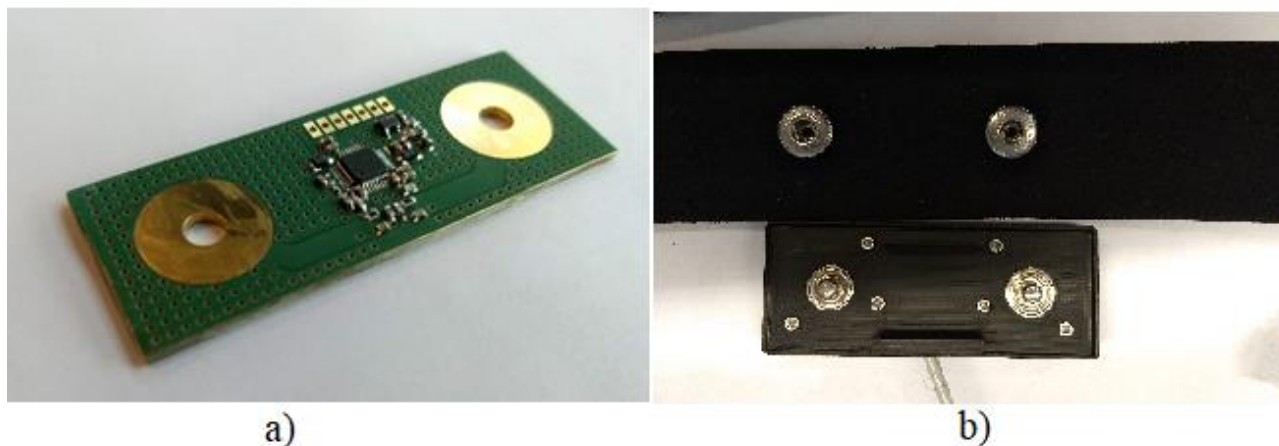


11 pav. Pagamintos įrangos struktūra. Adaptuota iš [70]

2.1.1. Krūtinės duomenų registratorius

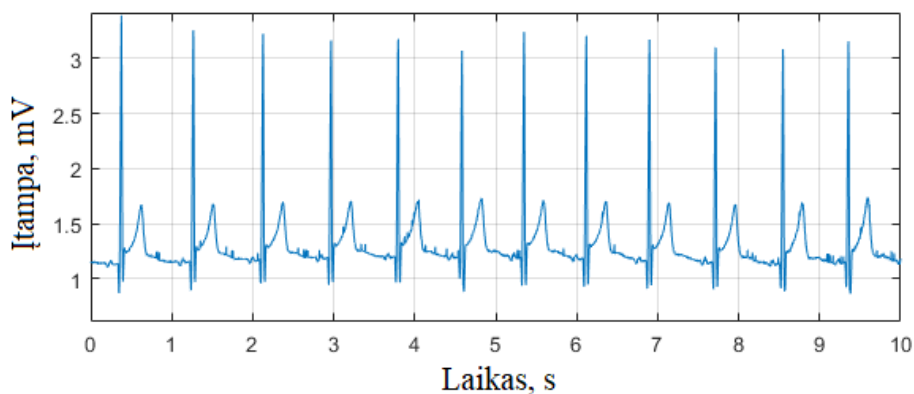
Krūtinės duomenų registratorius naudojamas EKG signalui, kuris vėliau apdorojamas HRV parametru gavimui, registruoti. EKG signalas nuo krūtinės registruojamas naudojant elektrodų diržą, kuriuo registruojama Einthoven'o I derivacija. EKG signalų registravimui naudojama „Texas Instruments“ EKG signalų registravimo bei apdorojimo mikroschema. Krūtinės duomenų registravimo bloke taip pat naudojamas akselerometras, kurio paskirtis yra atpažinti judesius. Tai leidžia lengviau vertinti EKG signalą, atmetant stipriai judesių paveiktas signalo dalis duomenų apdorojimo metu. Pagaminto krūtinės duomenų registratoriaus spausdinto montažo plokštė bei pats

registratorius plastmasiniame korpuse šalia elektrodų diržo pavaizduoti 12 paveiksle. Gautas duomenų registratorius patalpintas suprojektuotame ir iš plastmasės atspausdintame korpuse, kuris apsaugo elektronikos komponentus.



12 pav. Pagamintas krūtinės duomenų registratorius, kur a) surinkta spausdinto montažo plokštė, b) spausdinto montažo plokštė įdėta į plastmasinį korpusą su šalia pavaizduoto elektrodų diržo jungtimis

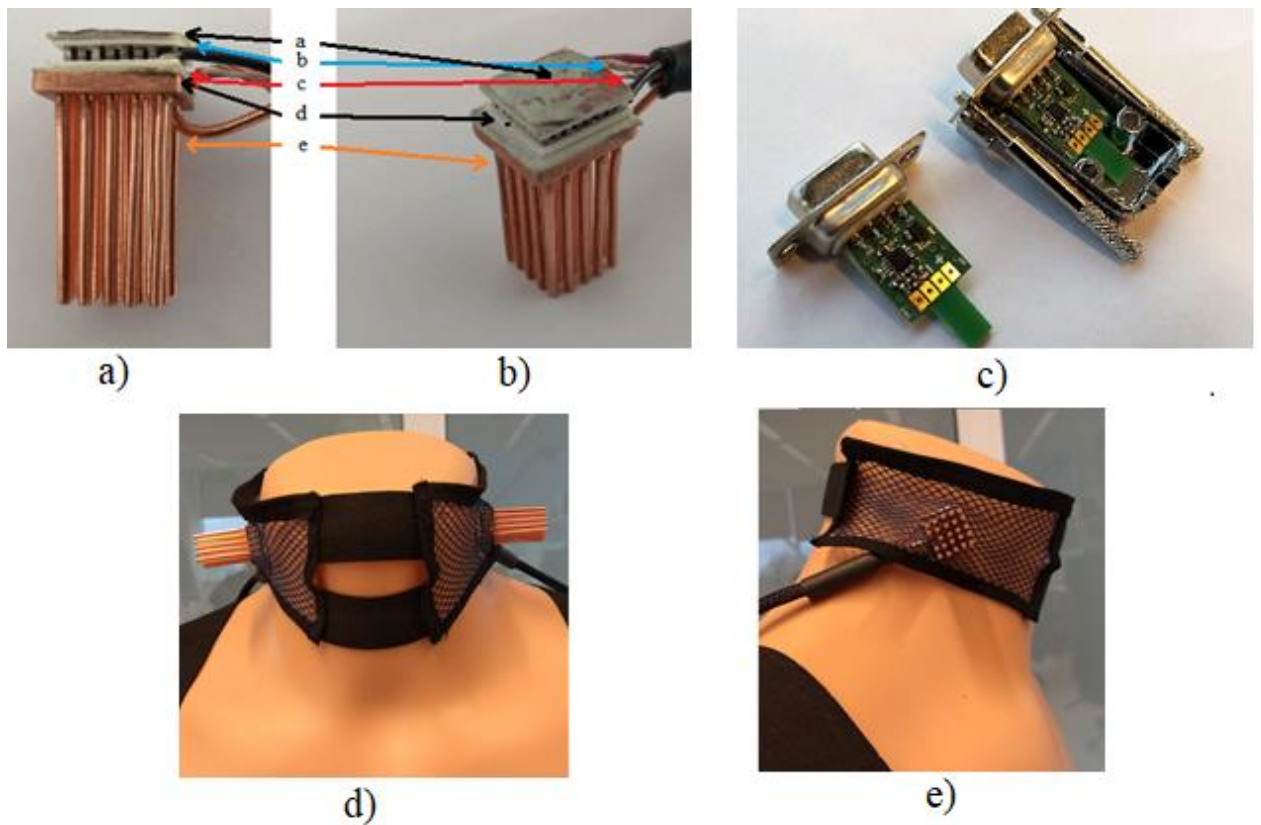
Pagamintas krūtinės duomenų registratorius gali būti lengvai pritvirtinamas ir nuimamas nuo elektrodų diržo, kuris yra keičiamo ilgio, taip gaunant judesių nevaržančią bei diskomforto nesukeliančią duomenų registravimo struktūrą. Pagaminto krūtinės duomenų registratoriaus registruojamų EKG duomenų pavyzdys pateikiamas 13 paveiksle, kur matoma, kad registruojamų signalų kokybė tinkama identifikuoti R dantelius, kurie naudojami HRV parametrų skaičiavimui.



13 pav. Pagaminto krūtinės duomenų registratoriaus įrašytų EKG signalų pavyzdys

2.1.2. Kaklo stimulatorius

Kaklo stimulatorius susideda iš temperatūrinio stimuliavimo įrangos bei temperatūros matavimo jutiklių. Kadangi vagus nervas kakle randamas abiejose pusėse, sukurtas įrenginys leidžia stimuliuoti abiejose pusėse vienu metu. Temperatūrinio stimuliavimo įgyvendinimui pritaikyti Peltjė elementai. Jų šaldanti pusė naudojama stimuliavimui, o prie šylančios pusės pritvirtintas radiatorius siekiant apsaugoti Peltjė elementą ir pailginti šalto stimuliavimo trukmę. Pasirinktas radiatorius yra spygliuoto tipo, kaip pavaizduota 14 paveiksle a ir b, tai leidžia jo spyglius naudoti kaip vietas ant kaklo pasirinkimo fiksavimo vietas. Peltjė elementų pozicionavimas ant kaklo įgyvendintas kartu su spygliuotais radiatoriais naudojant tinklinę medžiagą ir pro jos skylės sukaišant radiatoriaus spyglius, kaip pavaizduota 14 d ir e paveiksluose.



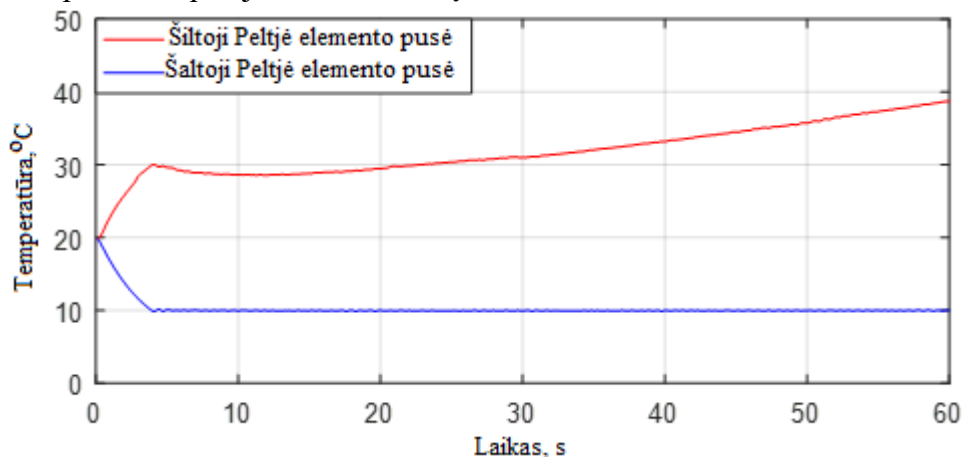
14 pav. Pagamintas kaklo stimulatorius, kur a) ir b) pateikiama sudaranti struktūra: a - plieninė plokštelė pritvirtinta prie šaltosios Peltjė elemento pusės kontaktui su oda, b - termoporos išvadai, c - termoporos išvadai, d – karštoji Peltjė elemento pusė, e – varinis radiatorius; c) pavaizduota termoporų duomenų skaitmenizavimo mikroschema be korpuso ir korpuse; d) ir e) pagaminto stimulatoriaus taikymas ant manekeno

Temperatūros matavimui naudojamos T tipo termoporos, kurių analoginiai įtampos duomenys verčiami skaitmeniniais pasigamintuose priedėliuose, kurie pavaizduoti 14 c paveiksle. Nuspręsta matuoti Peltjė elementų šaltųjų ir šiltųjų pusių temperatūras. Šiltųjų pusių temperatūra naudojama pačių Peltjė elementų apsaugai. Nustačius, kad šiltosios Peltjė elemento pusės temperatūra per aukšta, išjungiamas stimuliavimas. Taip siekiama palaikyti Peltjė elementų ilgaamžiškumą ir apsaugoti tiriamąjį nuo galimų grėsmių – Peltjė elementai yra ant kaklo, kur aukštos temperatūros gali būti pavojingos. Šaltųjų pusių temperatūrų stebėjimas naudojamas užsibrėžtos temperatūros palaikymui naudojant PID algoritmą.

2.1.2.1. Stimuliacijos galimybės

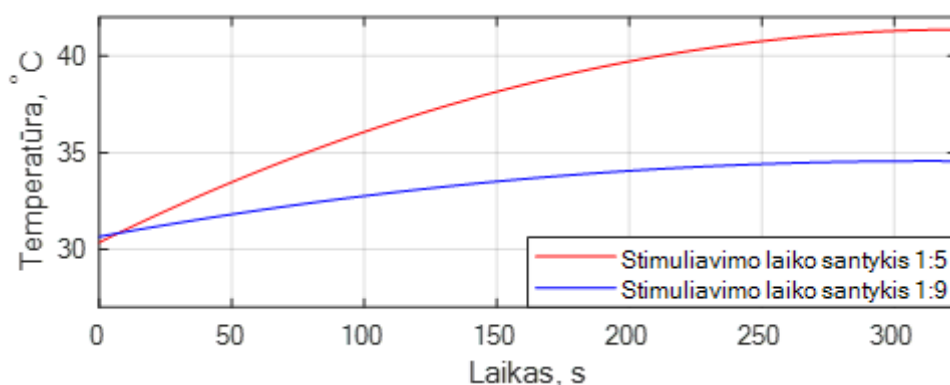
Stimuliavimo galimybės, tiksliau kiek laiko galima palaikyti šaltą stimuliavimą, ištirtos kaklo stimuliatorių naudojant nepriliestą prie nieko, ore, bei pridėjus prie odos įprastos ventilacijos sąlygomis. Įprastos ventilacijos sąlygos įgyvendintos pridėjus stimuliatorių prie odos kaklo srityje, taisyklingai sėdint bei žiūrint tiesiai į priekį. Stimuliatorius nepriliestas prie nieko gali palaikyti 10 °C temperatūrą daugiau nei minutę, kaip pavaizduota 15 paveiksle. Naudojamo Peltjė elemento aprašyme teigiama, kad siekiant palaikyti elemento ilgaamžiškumą bei efektyvumą, šiltosios pusės temperatūra neturėtų viršyti 90 °C. Kadangi kaklo stimuliatorius buvo surinktas ranka, matavimo sistemoje galėjo atsirasti paklaidų, todėl kaip apsauginė temperatūra, ar temperatūra, prie kurios

išjungiamas Peltjė elemento veikimas pasirinkta 75 °C. Stimuliatorius nepriliestas prie nieko pasiekia vos pusė šios temperatūros praėjus 50 sekundžių.



15 pav. Peltjė elemento temperatūros pokyčiai naudojant nepriglaudus prie nieko, ore

Kitokia situacija stebima kaklo stimuliatorių naudojant priglaudus prie odos. Nustatyta, kad naudojant pasirinkto dydžio Peltjė elementus bei radiatorius optimalus šaldymo ir pertraukos trukmių santykis įprastos ventiliacijos sąlygomis yra 1:9. Be to, šiuo atveju nustatyta temperatūra yra 20 °C, nes odos temperatūra yra artima 30–32 °C, todėl 10 °C skirtumas turi užtikrinti pakankamą stimuliavimą bei sukurtos įrangos veikimą visos tyrimo trukmės metu. Kaip pavaizduota 16 paveiksle, kai stimuliavimo laiko trukmių santykis 1:9, arba šaldymo trukmė 3 sekundės, o pertraukos trukmė 27 sekundės, šaltoji Peltjė elemento pusė pertraukų tarp stimuliavimo periodų metu per 5 minutes pakyla vidutiniškai 4 °C. Kai stimuliavimo laiko trukmių santykis 1:5, arba šaldymo trukmė 5 sekundės, o pertraukos trukmė 25 sekundės, šaltoji Peltjė elemento pusė pertraukų tarp stimuliavimo periodų metu pakyla net 10 °C per 5 minutes. Panašūs pokyčiai stebimi ir pasirinkus kitokias trukmes su tokiais pat stimuliavimo ir pertraukos trukmių santykiais.



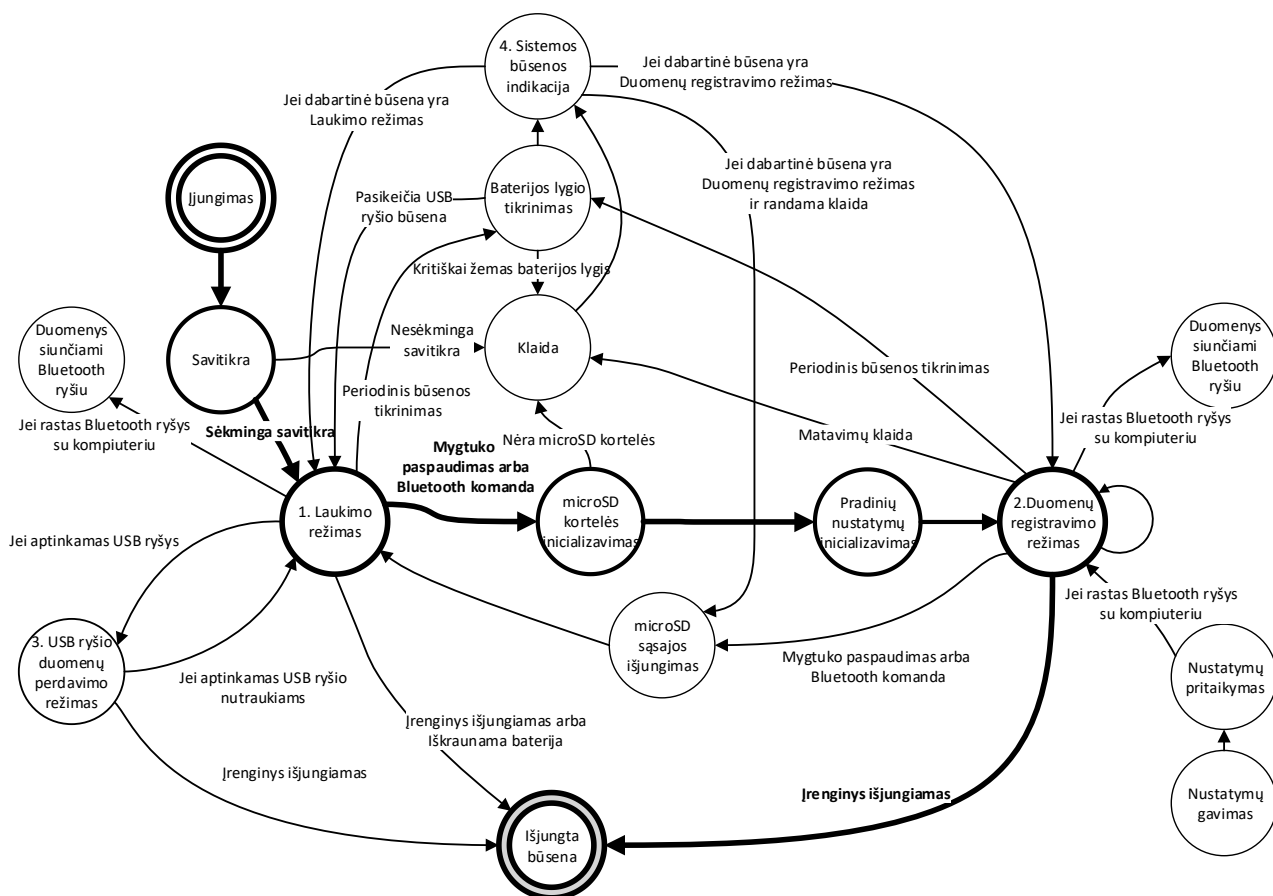
16 pav. Šaltosios Peltjė elemento pusės, pertraukų tarp stimuliavimo periodų metu, temperatūrų palyginimas naudojant skirtingus stimuliavimo bei pertraukų laikus

Pagal gautus stimuliavimo palaikymo rezultatus pasirinkti temperatūrinio stimuliavimo parametrai yra 20 °C stimuliavimo temperatūra bei 1:9 stimuliavimo trukmių santykis, arba 3 sekundės šaldymo trukmė ir 27 sekundės pertrauka. Mažesnės trukmės, pavyzdžiui, 1 ar 2 sekundės stimuliavimo periodų trukmė, nepasirinktos, nes per tiek laiko šalta Peltjė elemento pusė nespėja pasiekti užduotos temperatūros, o ilgesnių nei 3 sekundžių trukmių atsisakyta, siekiant dažnesnio stimuliavimo tyrimo metu.

2.1.3. Valdymo blokas

Valdymo bloko įgyvendinimui panaudotas kuprinės dizainas. Kadangi registruojami duomenys nuo kaklo srities ir krūtinės, valdymo bloką pritvirtinus viršutinėje nugaros dalyje, išvengiama ilgų laidų, kurie gali pabloginti duomenų perdavimą. Valdymo bloke mikrovaldiklis renka duomenis iš krūtinės duomenų registratoriaus ir kaklo stimulatoriaus bei surašo juos į atminties kortelę. Tas pats mikrovaldiklis atlieka ir Peltjė elementų temperatūros palaikymą naudojantis minėtu PID valdymo algoritmu. Sukurtos įrangos maitinimui naudojamos keičiamos baterijos, kurios yra dedamos šioje sukurtos įrangos dalyje, todėl dar yra ir integruota atvirkštinio baterijos prijungimo apsauga.

Valdymo bloko veikimo algoritmas pavaizduotas 16 paveiksle. Jame matoma, kad įjungus įrenginį jis atlieka savitikrą, kurios metu inicializuojami įrenginio komunikavimo būdai bei naudojami komponentai. Jei savitikra yra sėkminga, pereinama į 1 skaičiumi pažymėtą „Laukimo būseną“. Jos metu reguliariai tikrinamas baterijos lygis ir, jei randamas *Bluetooth* ryšys su kompiuteriu, siunčiami duomenys. Šie duomenys, pagal matomą EKG signalą, gali būti naudojami patikrinti ar taisyklingai ant krūtinės uždėtas elektrodų diržas bei, pagal Peltjė elementų temperatūras, ar tinkamas kontaktas su oda ant kaklo. *Bluetooth* ryšiu duomenys siunčiami mažesniu diskretizacijos dažniu nei rašomi į kortelę, todėl, kad jie yra naudojami tik patikslinti ar taisyklingai naudojamas įrenginys. Paspaudus valdymo bloke esantį būsenos keitimo mygtuką ar *Bluetooth* ryšiu nusiuntus būsenos keitimo komandą, inicializuojama atminties kortelė, parenkami matavimo nustatymai bei pereinama į 2 pažymėtą būseną – „Duomenų registravimo režimas“. Šios būsenos metu vyksta duomenų rašymas į kortelę. Jam pasibaigus įrenginys gali būti išjungiamas arba gražinamas į „Laukimo būseną“, kurios metu galima prijungti įrenginį prie kompiuterio USB sąsaja ir perkelti užregistruotus duomenis iš atminties kortelės. Skaičiumi 4 pažymėta „Sistemos būsenos indikacijos“ dalis atsakinga už LED indikaciją apie įrenginio dabartinę būseną bei baterijos lygį.



17 pav. Valdymo bloko programinės įrangos veikimo aiškinamoji diagrama

Vienas iš užsibrėžtų reikalavimų pagamintam įrenginiui yra temperatūrinio stimuliavimo parametru valdymas realiu laiku, todėl valdymo bloke įdiegtas *Bluetooth* ryšiu bendraujantis mikrovaldiklis. Būtent *Bluetooth* ryšiu susijungus sukurto įrenginio valdymo blokui su kompiuteriu yra vykdomas valdymas realiu laiku. Tai įgyvendinama pasinaudojant nRF52840 USB raktu. Jis prijungiamas prie kompiuterio, taip šiam USB raktui suteikiant reikalingą energiją, ir pradeda pagamintame valdymo bloke esančio mikrovaldiklio, kuriame yra *Bluetooth* ryšio mikrovaldiklis, paieška. Įvykus prisijungimui, duomenys yra nuolat siunčiami iš pagaminto valdymo bloko į kompiuterį, kuriame programinė įranga paverčia priimamą duomenų srautą tyrėjui lengvai interpretuojamais duomenimis.

Kompiuteryje įdiegta realaus laiko valdymo programa leidžia pasirinkti abiejų stimuliavimo pusių trukmę, temperatūrą bei pertrauką tarp stimulų. Be to, yra galimybė išsaugotus failus atsidaryti ir išsaugoti pasirinktus intervalus reikiamu formatu.

2.1.3.1. Registruojami signalai

Registruojami signalai bei jų parametrai pateikiami 1 lentelėje. Naudojamas akcelerometras kartu su trijų ašių akseleracija dar veikia ir kaip giroskopas. Duomenų laukas „Būsena“ leidžia kompiuterio programinę įrangą valdančiam asmeniui naudoti šį lauką kaip sinchronizacijos indikatorių, pavyzdžiui, stimuliavimo metu gali būti saugoma reikšmė „1“ kitais laiko momentais „100“ ar panašiai.

1 lentelė. Registruojami signalai su pagaminta įranga bei jų parametrai

Signalas	Iš kur registruojamas	Kvantavimo lygis, bitais	Diskretizavimo dažnis, Hz
EKG	Krūtinės duom. reg.	24	500
Akseleracija X ašyje	Krūtinės duom. reg.	16	50
Akseleracija Y ašyje	Krūtinės duom. reg.	16	50
Akseleracija Z ašyje	Krūtinės duom. reg.	16	50
Sukimasis apie X ašį	Krūtinės duom. reg.	16	50
Sukimasis apie Y ašį	Krūtinės duom. reg.	16	50
Sukimasis apie Z ašį	Krūtinės duom. reg.	16	50
Šaltos pusės kairiojo Peltjė elemento temperatūra	Kaklo stimuliatoriuje	32	50
Karštos pusės kairiojo Peltjė elemento temperatūra	Kaklo stimuliatoriuje	32	50
Šaltos pusės dešiniojo Peltjė elemento temperatūra	Kaklo stimuliatoriuje	32	50
Karštos pusės dešiniojo Peltjė elemento temperatūra	Kaklo stimuliatoriuje	32	50
Kairės pusės stimuliavimo būseną	Valdymo bloke	8	4
Dešinės pusės stimuliavimo būseną	Valdymo bloke	8	4
Būseną	Valdymo bloke	16	50

EDA bei fotopletizmografijos signalas, naudojamas SSI radimui, registruojami papildoma įranga. Jų duomenų registravimo parametrai pateikiami 2 lentelėje.

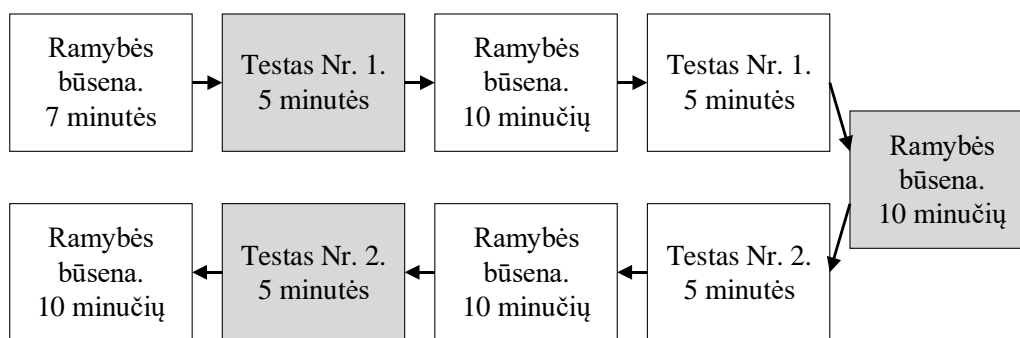
2 lentelė. Registruojami signalai su papildoma įranga bei jų parametrai, kur LED – šviesą skleidžiantis diodas

Signalas	Nuo kur registruojamas	Kvantavimo lygis, bitais	Diskretizavimo dažnis, Hz
EDA nuolatinė srovė	Smilius ir didysis pirštai	16	256
Fotopletizmografijos signalas, raudonas LED	Bevardis pirštas	24	100
Fotopletizmografijos signalas, infraraudonas LED	Bevardis pirštas	24	100
Fotopletizmografijos signalas, žalias LED	Riešas	24	100
Fotopletizmografijos signalas, raudonas LED	Riešas	24	100
Fotopletizmografijos signalas, infraraudonas LED	Riešas	24	100

2.2. Tyrimų metodika

Tyrimai atlikti KTU Biomedicininės inžinerijos institute bei KTU Elektros ir elektronikos fakultete. Streso valdymui temperatūriniu stimuliavimu ištirta 12 žmonių. Įvertinus „Psichologinio streso bei jo nustatymo ir valdymo metodų literatūros analizė“ skyriuje rastą informaciją apie stresą, siekiant eliminuoti netikslumus, visi tyrimai buvo atliekami patalpose, kuriose be tyrimą atliekančio asmens ir tiriamąjį daugiau nieko nėra, tyrimo metu naujas asmuo negali įeiti. Siekiama užtikrinti kuo ramesnę aplinką. Be to, kadangi siekiama sumažinti pašalinių veiksnių įtaką, dėl „Psichologinio streso bei jo nustatymo ir valdymo metodų literatūros analizė“ skyriuje aptartų priežasčių tyrimai atlikti tik su vyrais. Bendra tyrimo trukmė yra arti valandos, o jo eiga pavaizduota 18 paveiksle. Prieš pradėdant tyrimą tiriamajam leidžiama susipažinti su testais, pabandyti juos atlikti, išsiaiškinti visus

niuansus, kad tyrimo eigoje niekas nebenustebintų. Be to, prieš pradėdant tyrimą tiriamajam vieną kartą įjungiamas stimuliavimas, kad jis žinotų, kas laukia tyrimo metu ir tyrimo metu nenustebtų, kas gali paveikti registruojamus fiziologinius parametrus. Prieš pradėdant tiriamajam pasakoma, kad tyrimo metu stimuliavimas įvairiais laiko momentais gali keistis ir kartais gali būti neįjungiamas, nors stimulus ir yra. Kitaip tariant, tiriamajam nepasakoma, kada tiksliai bus stimuliuojama siekiant sumažinti galimus netikslumus dėl besikeičiančio jo elgesio testo etapų, kuriuose vyksta stimuliavimas, metu. Tyrimo eigos struktūroje galima matyti, kad vieną kartą stimuliavimas vykdomas ir neatliekant testo. Taip nuspręsta įvertinti ar kokie nors pokyčiai dėl temperatūrinio vagus nervo stimuliavimo yra stebimi ir santykinai mažesnio streso situacijose.

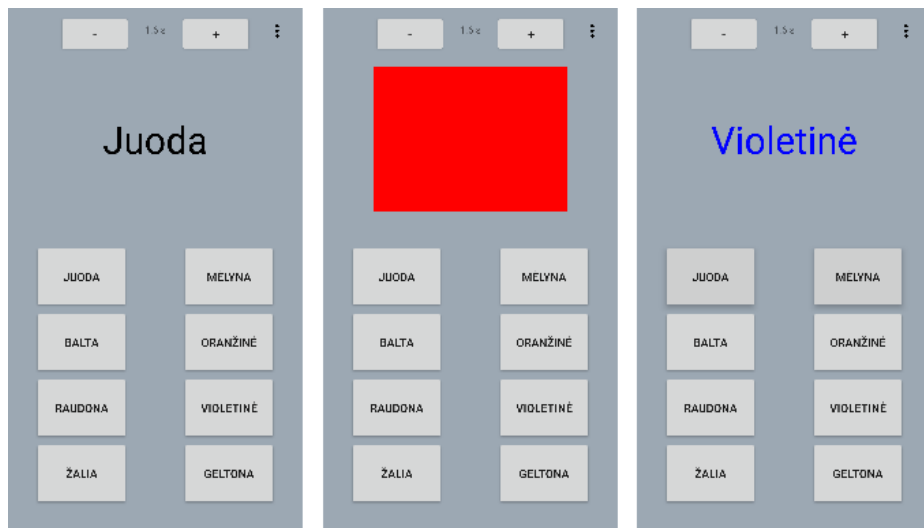


18 pav. Tyrimo eiga. Pilkai pažymėtos sritys, kuriose buvo vykdomas temperatūrinis stimuliavimas

2.2.1. Atliekami testai

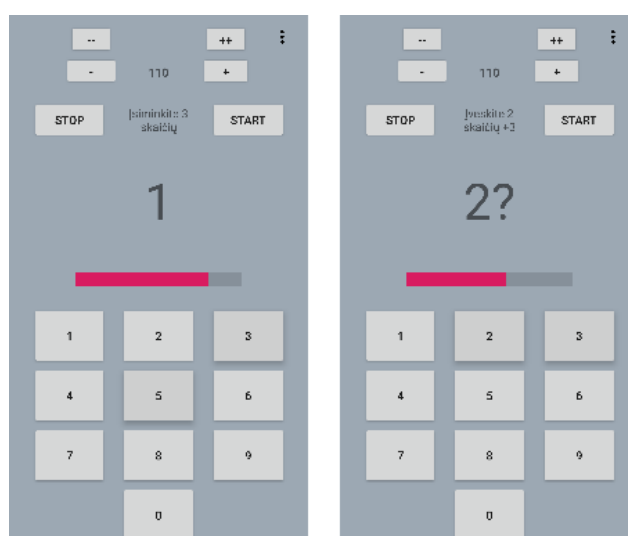
Tyrimui atlikti pasirinkti du skirtingi testai: SCWT ir *Kaheman* ADD3. Šie testai pasirinkti dėl savo pobūdžio: *Kaheman* ADD3 yra aritmetinis testas, o SCWT yra kognityvinis, pažinimo sistemos testas. Dėl žmonių individualumo, skirtingo pobūdžio užduotys gali turėti nevienodą įtaką, todėl atliekami du skirtingi testai. Abiejų testų atveju buvo sukurta programinė įranga išmaniajam įrenginiui siekiant sumažinti reikalingų tyrimo vedėjų skaičių – nereikalingas testą prižiūrintis asmuo, užtenka vieno tyrimą vedančio žmogaus. Be to, sukurtoje programinėje įrangoje yra galimybė keisti testų atlikimo sudėtingumą keičiant laiko limitą abiejų testų pasirinkimams atlikti.

SCWT testo metu yra atliekami visi trys šio testo tipo etapai: iš pradžių pateikiami juoda spalva parašyti spalvų pavadinimai, vėliau keičiasi spalvos pateiktame lange ir galiausiai spalvų pavadinimai rašomi įvairiomis spalvomis, kaip pavaizduota 19 paveiksle. Testo trukmė 5 minutės, pirmas ir antras etapai trunka po 1 minutę, trečias etapas 3 minutes. Tyrimo pasiruošimo stadijoje tiriamajam duodama išbandyti testą išsaugant jo rezultatus ir laiką tarp pasirinkimų. Tyrimo metu įvedamas laiko limitas teisingam pasirinkimui, kuris nustatomas pasiruošimo stadijos metu gautą laiką tarp paspaudimų sumažinant 10 %. Taigi, jei pasiruošimo etape tiriamasis pasirinkdavo atsakymą per 2000 ms, tyrimo metu užduotys keičiasi kas 1800 ms. Laiko limitas įvedamas siekiant padidinti tiriamojo susikaupimą ir padidinti streso lygį.



19 pav. SCWT testo etapų pavyzdys

Kaheman ADD3, kurio ištraukos pateikiamos 20 paveiksle, pasirinktas dėl reikalaujamo didelio susikaupimo lygio ir savo aritmetinių užduočių savybių. Šio testo metu įjungiamas laikmatis ir pagal pasirinktą greitį keičiami testo etapai. Pirmų keturių etapų metu pateikiami atsitiktinai skaičiai nuo 0 iki 9. Po to, penktame etape nepateikiamas joks skaičius, o šeštame etape prašoma įvesti pirmo etapo skaičiaus ir 3 sumą, septintame etape antro etapo skaičiaus ir 3 sumą, aštuntame – trečio etapo ir 3 sumą, devintame – ketvirto etapo ir 3 sumą. Pavyzdžiui, jei pirmų keturių etapų skaičiai buvo [1, 3, 6, 9] tai nuo šešto iki devinto etapo reikia įvesti [4, 6, 9, 2]. Paskutinis skaičius 2, nes viskas vyksta skaičių sistemoje nuo 0 iki 9, o $9 + 3 = 12$, todėl rašomas tik paskutinis skaičius. Šis testas taip pat trunka 5 minutes. Sukurtoje programinėje įrangoje leidžiama pasirinkti etapų trukmę etapais per minutę. Kaip ir SCWT atveju, tyrimo pasiruošimo stadijoje tiriamajam duodama išbandyti testą, tuo pačiu siekiant nustatyti kaip greitai tiriamasis pasirenka atsakymus. Vėliau tyrimo metu testas pagreitinamas 10 %, dėl tokių pačių priežasčių kaip ir SCWT atveju. Taigi, jei pasiruošimo metu tiriamasis atsakymus rinkosi 50 etapų per minutę greičiu, tai tyrimo metu nustatomas 55 etapų per minutę greitis.



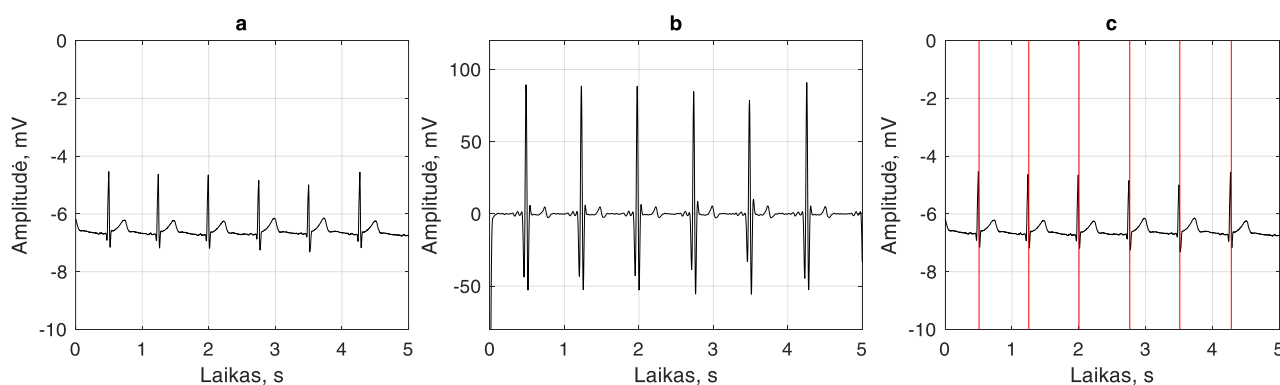
20 pav. *Kaheman* ADD3 testo pavyzdys

2.3. Duomenų analizė

Surinkus duomenis reikalingas jų apdorojimas. Surinkti duomenys išskaidyti į 9 dalis pagal tyrimo etapų skaičių ir kiekvieno etapo duomenys apdorojami atskirai. Etapai, kurių duomenys stipriai pažeisti artefaktų, nenaudoti bendruose skaičiavimuose.

2.3.1. Širdies ritmo variabilumo analizė

HRV analizė yra dažnai tiriama sritis, todėl nemaža dalis reikalingos programinės įrangos reikalingos duomenų analizei yra prieinama publikuojamų algoritmų ar sukurtų programinių paketų pavidalu. Iš užregistruotų EKG signalų visų pirma reikia išgauti NN intervalus. Šiam tikslui pasiekti reikalingas signalo filtravimas bei QRS kompleksų atpažinimas. Abu šiuos uždavinius galima įgyvendinti naudojant „Pan-Thompkins“ algoritmą [71]. Šiuo algoritmu gautų R dantelių atpažinimo pavyzdys pateikiamas 21 paveiksle. Radus R dantelių vietas apskaičiuojami intervalai tarp jų ir atliekamas papildomas intervalų filtravimas, kurio metu pašalinami intervalai, kurių trukmės mažesnės nei 300 ms ar didesnės nei 2000 ms bei kurie savo trukme skiriasi daugiau nei 1,5 arba mažiau nei 0,5 karto nuo prieš tai buvusio intervalo.

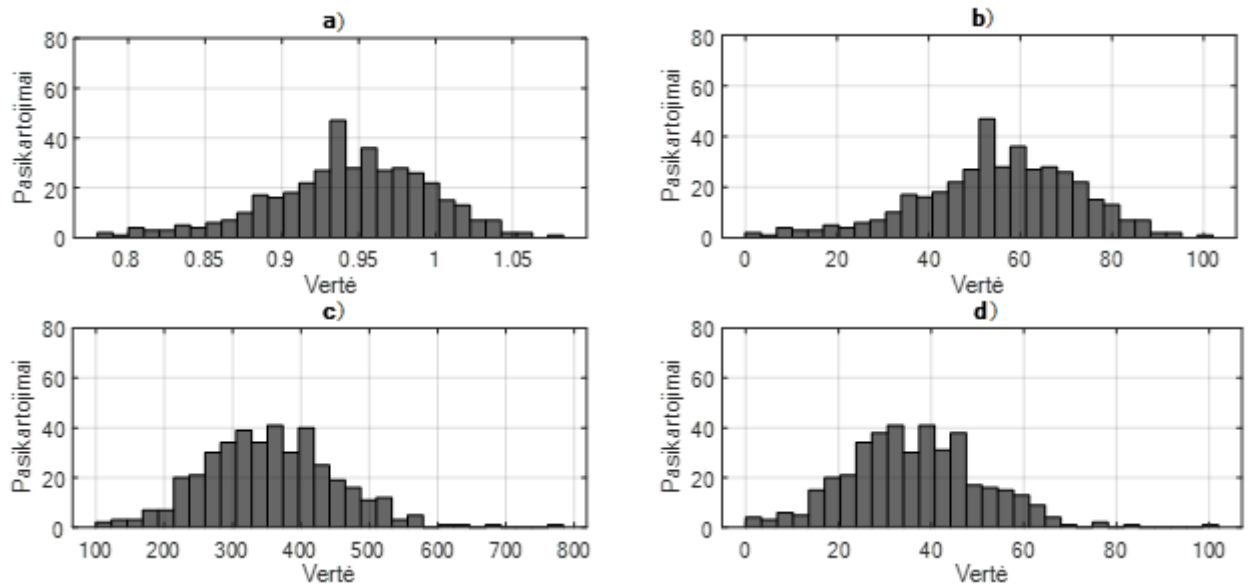


21 pav. RR dantelių aptikimo algoritmo skirtingų etapų signalai, kur a – pradinis signalas, b – pradinis signalas atlikus filtravimą, integravimą bei pritaikius netiesinį operandą, c – pradinis signalas su raudonai pažymėtais rasta R danteliais

Gauti NN intervalai apdorojami „Kubios HRV“ programiniu paketu, iš kurio gaunamos tiek laikinės tiek dažninės ieškomų parametrų vertės [72]. Pasirenkamas pirmos eilės tiesinis vidurkio pašalinimas kaip RR intervalų filtro parametras, o rezultatuose pateikiamos tik *Welch* periodograma gautos dažniųjų parametrų vertės.

2.3.2. Fotopletizmogramos analizė

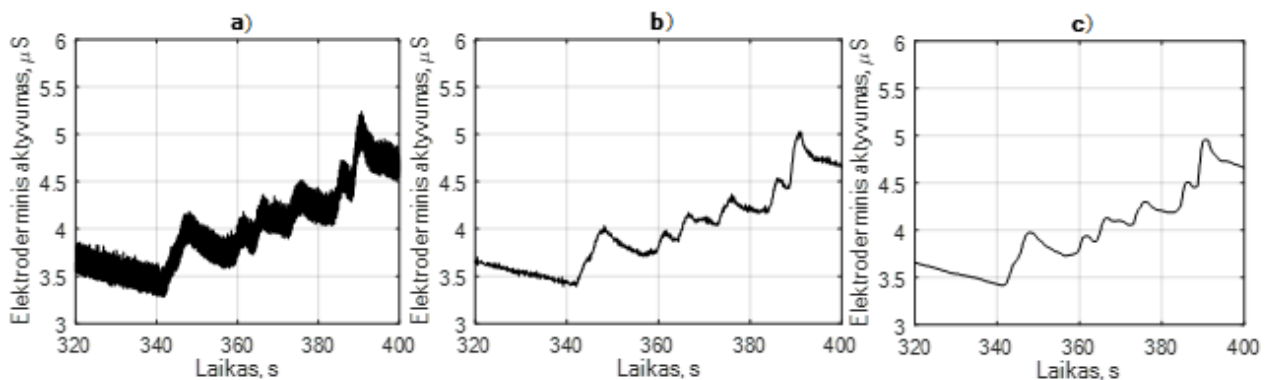
Fotopletizmograminių signalų apdorojimas buvo atliktas naudojantis Sološenko sukurtu fotopletizmograminių signalų apdorojimo algoritmu [73]. Šis algoritmas sukurtas būtent išmaniųjų įrenginių registruojamų fotopletizmografijos signalų apdorojimui ir jis skirtas širdies susitraukimų momentų paieškai. Nustačius signale matomas širdies susitraukimo signalų amplitudes bei intervalus tarp jų, atliekamos histogramos transformacijos kaip pavaizduota 22 paveiksle, kurios yra naudojamos SSI vertinimui.



22 pav. Atliktos histogramos transformacijos širdies ritmo signalui iš a į b ir amplitudės vertėms iš c į d

2.3.3. Elektroderminio aktyvumo analizė

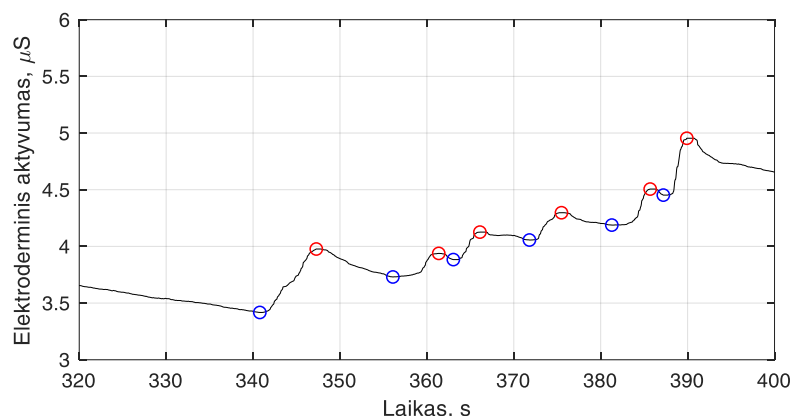
EDA tirtas vertinant skirtingų tyrimo etapų vidurkius bei sujaudinimo momentus. Prieš pradėdant duomenų analizę buvo atliekamas signalo filtravimas. Pradinis filtravimas atliktas naudojant Chebyshev'o 5 Hz žemų dažnių filtrą [74]. Kadangi buvo ieškoma vietinių minimalių ir maksimalių verčių, signalas dar perfiltruotas glotninančiuoju medianos filtru. Vizualiai EDA signalo fragmentai po kiekvieno filtravimo etapo pateikiami 23 paveiksle.



23 pav. EDA signalas, kur a – pradinis signalas, b – po pradinio Chebyshev'o filtro ir c – po glotninančio medianos filtro

Sujaudinimo momentai skaičiuojami sukurtu algoritmu, kuris EDA kreivėse ieško sujaudinimo momentų išsaugant sujaudinimo momentų pradžias bei amplitudes. Vizualus sujaudinimo momentų bei sukurto algoritmo veikimas pavaizduotas 24 paveiksle. Nustčius šiuos taškus, atliekami skaičiavimai ieškant sujaudinimo trukmės – atimant vietinės maksimalios reikšmės pasirodymo laiką iš vietinės minimalios reikšmės pasirodymo laiko, sujaudinimo amplitudės – iš vietinio maksimumo reikšmės atimant vietinės minimalios reikšmės vertę. Toliau seka papildomi skaičiavimai: bendrų sujaudinimo momentų skaičiavimas, ploto po sujaudinimo kreivėmis skaičiavimas, kurio metu naudojama pusė sujaudinimo trukmės ir sujaudinimo amplitudės sandaugos. Kadangi tyrimo etapų

trukmės skirtingos, siekiant suvienodinti apskaičiuotas vertes, jos padalijamos iš tyrimo etapo trukmės minutėmis, taip gaunant minutes apskaičiuotų parametrų vertes.



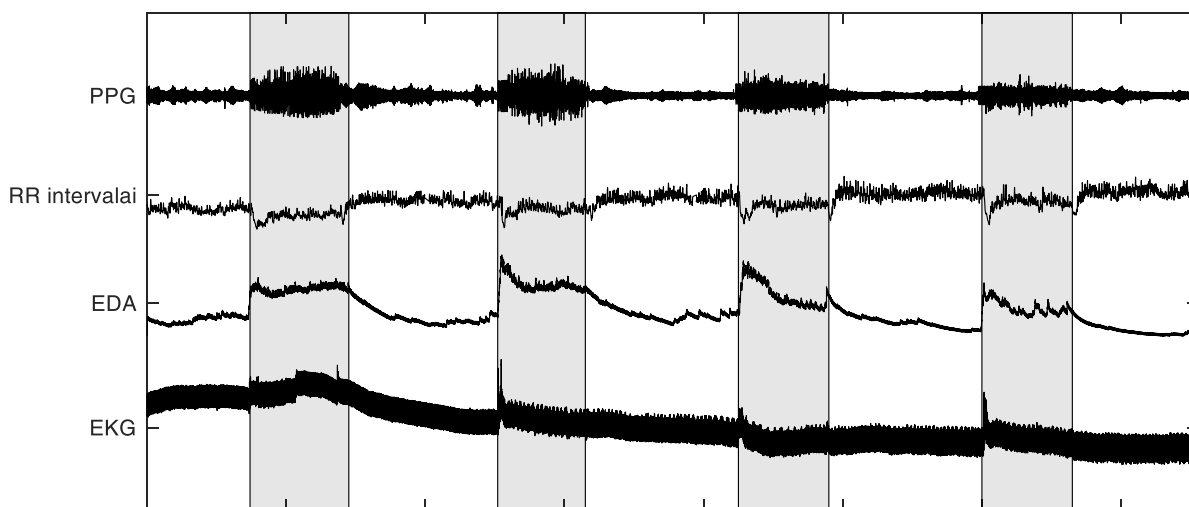
24 pav. Sukurto sujaudinimo momentų atpažinimo algoritmo veikimas, kur mėlyni taškai – sujaudinimo momentai, raudoni – sujaudinimo momentų amplitudžių viršūnės

2.3.4. Statistinis duomenų apdorojimas

Skirtumams tarp duomenų imčių vertinti ramybės ir streso būsenos palyginime naudotas „Mann-Whitney U“ testas. Šis vertinimo būdas pasirinktas dėl sąlyginai nedidelių imčių dėl ko daugeliu atvejų nustatytas ne pagal normalųjį skirstinį išsidėstęs duomenų pasiskirstymas. Taikytos skirstinio transformacijos nepakankamai efektyviai pakeitė imčių reikšmių pasiskirstymą, todėl „Stjudento t-testas“ daugeliu atvejų negalėjo būti naudotas. Vertinant stimuliavimo efektyvumą naudotas Wilkoksno testas, dėl duomenų pasiskirstymo ne pagal normalųjį dėsnį.

2.4. Apibendrinimas

Pagaminta aparatinė įranga leido atlikti temperatūrinį vagus nervo stimuliavimą individualiai parenkamoje kaklo vagus nervo srityje. Nustatyti stimuliavimo parametrai leido užtikrinti stimuliavimą viso tyrimo metu be per didelio Peltjė elementų šilimo. Ant žmogaus uždėta įranga nesukėlė diskomforto bei nevaržė judesių.



25 pav. Registruojamų signalų pavyzdys, pilkai pažymėtos sritys – tyrimo etapai, kuriuose atliekami testai, baltos sritys – ramybės būsenos etapai

Sudarius tyrimo eigą bei atlikus pačius tyrimus, gauti duomenų rinkiniai galėjo būti apdoroti aptartais metodais. Gautų užregistruotų signalų pavyzdys pateikiamas 25 paveiksle. Nors iš jo daryti išvadų negalima, tačiau skirtumai tarp ramybės ir streso būsenų yra matomi, o tikslesni skirtumai tarp jų, bei temperatūrinio stimuliavimo įtaka nagrinėjama sekančiame skyriuje. Iš užregistruotų EKG signalų skaičiuojami parametrai yra: širdies ritmas, SDNN, RMSSD, pNN50, TINN, ŽD energija, AD energija, visa energija, ŽD/AD energijų santykis. Iš užregistruotų EDA duomenų skaičiuojami vidurkis, sujaudinimo momentų trukmės per minutę (O_d), sujaudinimo momentų amplitudės per minutę (O_m), sujaudinimų skaičius per minutę, plotas po sujaudinimo kreivėmis per minutę. Iš fotopletizmografinių signalų skaičiuojami visų šviesą skleidžiančių diodų apskaičiuotos SSI vertės bei amplitudės. Naudoti du šviesą skleidžiantys diodai ant piršto, raudonas ir infraraudonas, bei trys ant riešo, žalias, raudonas ir infraraudonas.

3. Rezultatai

3.1. Streso būsenos vertinimas

Siekiant vertinti sukurtos įrangos streso valdymo galimybes, iš pradžių naudinga identifikuoti metodus tinkamai atskiriančius streso ir ramybės būsenas. HRV parametrų pokyčiai tarp skirtingų tyrimo etapų pateikiami pirmame priede, o apibendrintos ramybės ir streso būsenų palyginimo vertės pateikiamos 3 lentelėje. Šioje lentelėje matoma, kad nemaža dalis dažniausiai taikomų HRV parametrų nepasižymi skirtumais tarp dviejų tiriamų būsenų. Kaip ir tikėtasi, ramybės būsenos metu stebimas aukštų dažnių srities aktyvumo padidėjimas, kuris kartu sukelia žemų ir aukštų dažnių energijų santykio sumažėjimą. Be to, širdies ritmo dažnis yra pats paprasčiausias ir lengviausiai interpretuojamas būdas atskirti ramybės būseną nuo susijaudinimo ir, kaip matoma gautuose rezultatuose, tiriamieji juto pakankamą susijaudinimą, kad širdies ritmo dažnumas atliekamų testų metu skirtųsi nuo ramybės būsenos metu stebėto dažnumo.

3 lentelė. Bendrai tyrimo metu gautų rezultatų palyginimas tarp ramybės ir streso būsenų etapų, kur p – „Mann-Whitney U“ testu gauta p reikšmė

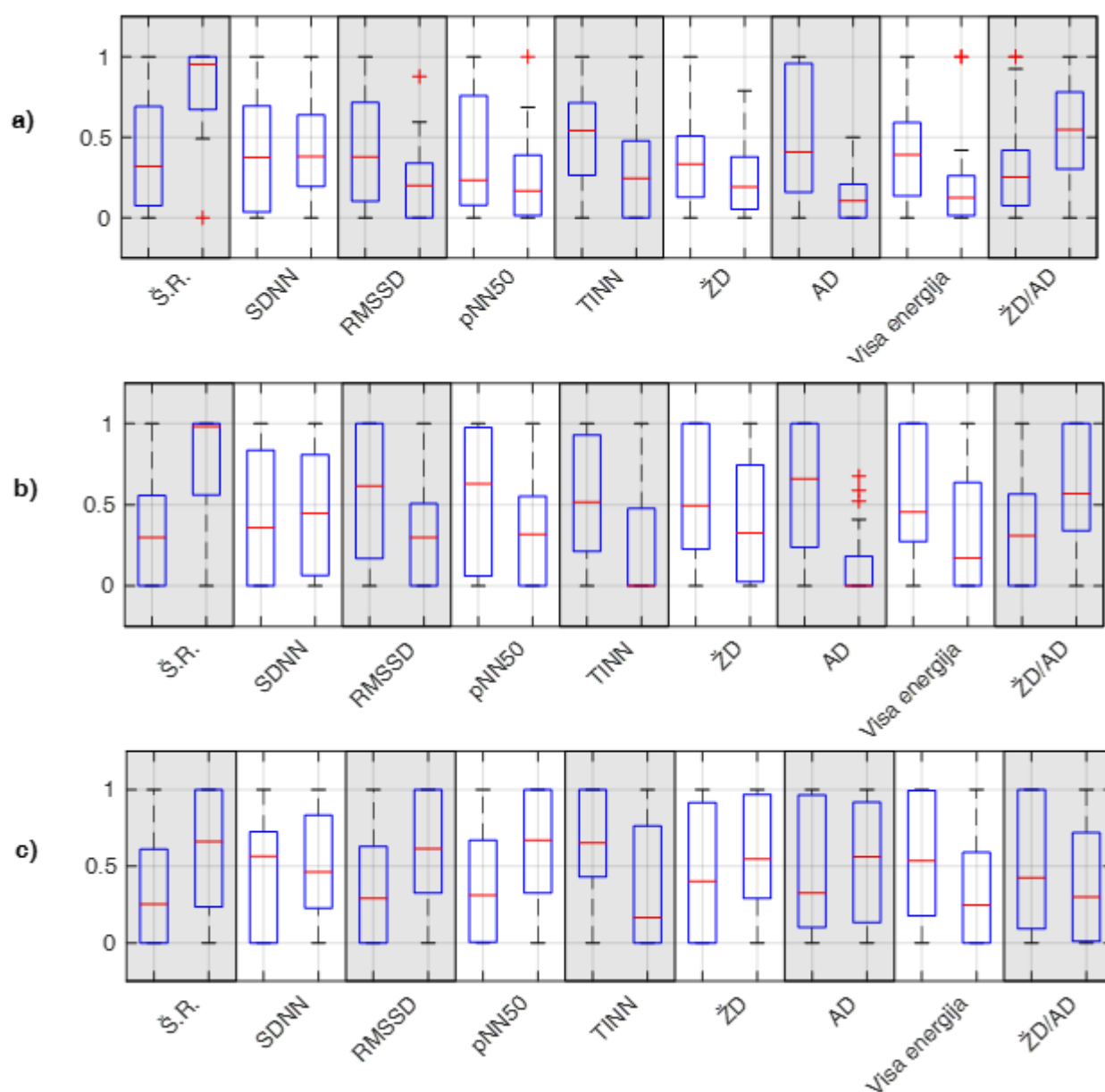
Parametras	Ramybės būseną		Streso būseną		p
	Vid.	SN	Vid.	SN	
Š.R., kartais/min	76,62	10,69	80,35	11,48	0,159
SDNN, ms	52,81	18,50	50,19	19,02	0,536
RMSSD, ms	30,93	14,69	30,53	16,37	0,741
pNN50, %	12,01	12,91	12,73	14,81	0,741
TINN, ms	273,48	90,57	248,38	92,81	0,229
ŽD, ms ²	695,81	804,34	675,44	881,71	0,959
AD, ms ²	495,28	500,78	427,46	471,64	0,390
Visa energija, ms ²	2251,32	2749,71	1804,49	1662,18	0,446
ŽD/AD santykis	3,03	2,56	3,28	2,53	0,477

Kadangi siekiama nustatyti ar matomi pokyčiai tarp dviejų psichologinių būsenų, toliau duomenys yra individualiai normalizuoti siekiant kompensuoti mažą tiriamųjų imties dydį. Be to, literatūros apžvalgos metu nustatyta, kad panašaus tipo tyrimų metu kinta ir kiti parametrai, todėl nutarta atskirai vertinti abiejų testų rezultatus, nes žmonės skirtingai reaguoja į skirtingus uždavinius. Atskiras palyginimas gali suteikti papildomos informacijos apie stebimus streso sukeltus pokyčius. Palyginamieji rezultatai pateikiami antrame priede bei 26 paveiksle vizualiam lyginamų parametrų palyginimui. Atliktas „Mann-Whitney U“ testas tarp ramybės ir streso būsenų imčių, kurio rezultatai pateikiami 4 lentelėje. Šio palyginimo metu sunormuoti pirmų penkių etapų parametrai lyginant SCWT testo įtaką stresui, bei paskutinių penkių etapų parametrai lyginant ADD3 įtaką. Gautame palyginime aiškiai matoma, kad SCWT testo metu pastebėta daugiau pakitusių parametrų tarp ramybės ir streso būsenų nei lyginant viso tyrimo metu gautas duomenų imtis. Čia pastebimi skirtumai tarp RMSSD bei pNN50 verčių ir matomas ženklus skirtumas tarp aukšto dažnio energijos imčių, kurio p vertė šio testo metu tapo < 0,001. ADD3 testo metu daugelis parametrų išsidėstę ko ne atsitiktinai arba pokyčiai yra atvirktiniai nei tokie, kokių buvo tikėtasi remiantis literatūros analizės metu rastais pastebėjimais. Negana to, dalis stebimų ramybės ir streso būsenos imčių pasižymi

priešingomis, nei tikėtasi vertinant literatūros analizės rezultatus, tendencijomis. Galimos šio reiškinių atsiradimo priežastys aiškinamos tolesniame skyriuje.

4 lentelė. Individualiai normuotų HRV parametrų viso tyrimo bei atskirų testų metu p vertės gautos „Mann-Whitney U“ testo metu

Tiriama imtis	Š.R.	SDNN	RMSSD	pNN50	TINN	ŽD	AD	Visa energija	ŽD/AD
Viso tyrimo metu	<0,001	0,573	0,819	0,955	0,004	0,878	0,047	0,040	0,104
Tik SCWT	<0,001	0,751	0,025	0,068	0,009	0,178	<0,001	0,067	0,032
Tik ADD3	0,063	0,617	0,055	0,074	0,032	0,189	0,577	0,164	0,523



26 pav. HRV parametrų palyginimas bendru, a, bei atskirų testų atvejais, b – SCWT, c – ADD3. Kur Š.R. – širdies ritmas. Kiekvieno parametro atveju kairiau esanti imtis – ramybės būsenos pasiskirstymas, dešinėje – streso būsenos. Pilkas kai kurių parametrų fonas tik aiškesniam vizualiam atskyrimui

EDA tiriamų parametų kiekvieno tyrimo etapo metu palyginimas pateikiamas trečiame priede, o atskirtų ramybės bei streso būsenų palyginimas 5 lentelėje. Lyginant skirtumus tarp ramybės ir streso būsenų nustatyta, kad visi stebimi EDA parametrai padidėjo nuo ramybės būsenos verčių. Didžiausi pokyčiai stebimi susijaudinimo keliamų amplitudžių verčių palyginime. Nustatyta, kad individualiai sunormavus kiekvieno tiriamojo vertes, vidutinė amplitudė padidėjo daugiau nei keturis kartus, o nenormuotų parametų atveju – keturis su puse karto. Sujaudinimų skaičius per minutę buvo kitas dideliais pokyčiais tarp ramybės ir streso būsenų pakitęs parametras. Nustatyta, kad streso būsenos metu sujaudinimai vyko beveik 3 kartais per minutę didesniu dažnumu. Be to, paprasčiausiai nustatomas ir interpretuojamas parametras – vidurkis – taip pat ženkliai skyrėsi tarp dviejų tiriamų imčių.

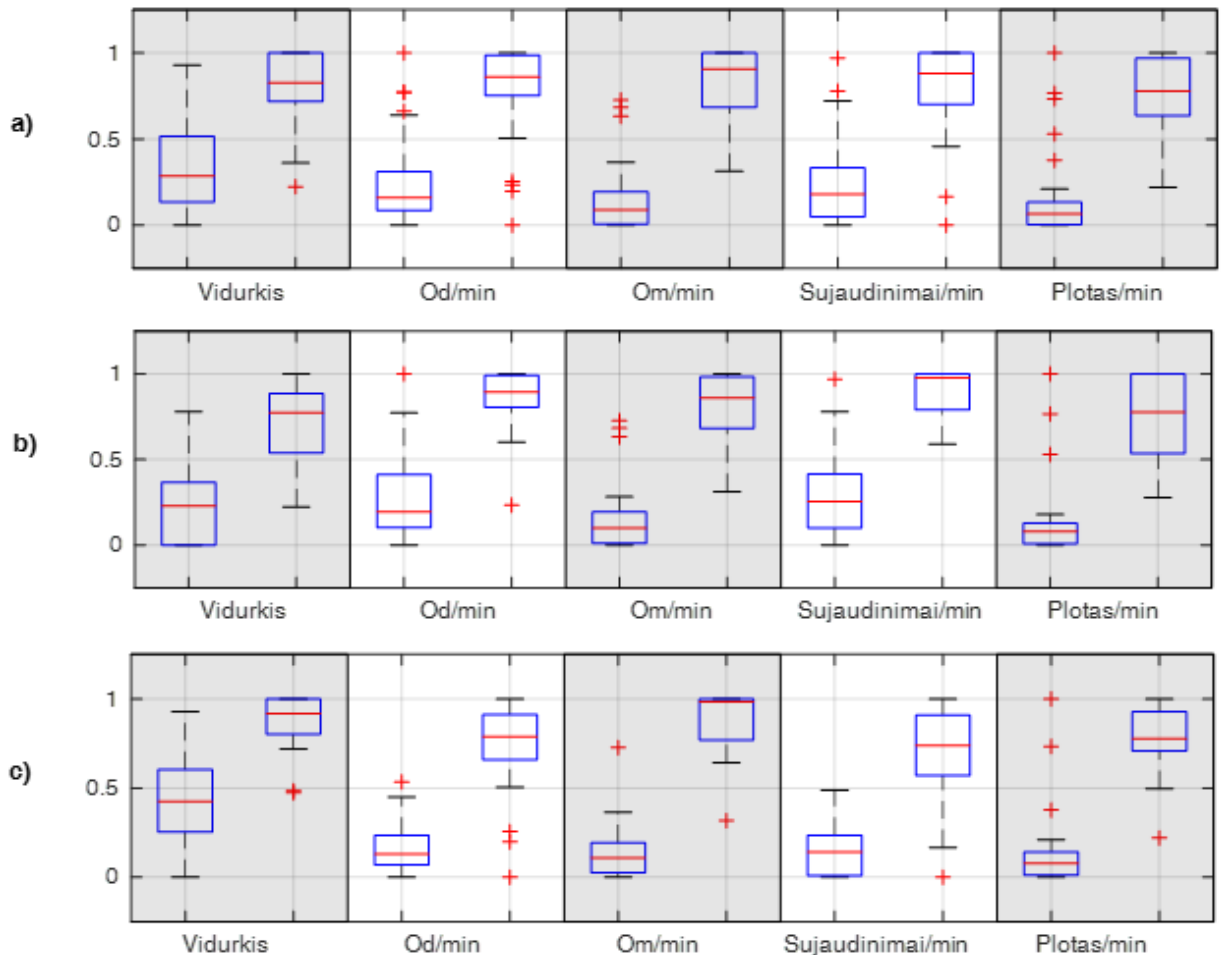
5 lentelė. EDA rezultatų palyginimas tarp ramybės ir streso būsenų, kur p – „Mann-Whitney U“ testu gauta p reikšmė

Parametras	Ramybės būsena		Streso būsena		p
	Vid.	SN	Vid.	SN	
Vidurkis, μ S	2,39	1,27	3,52	1,78	<0,001
Od, s/min	10,48	4,25	18,92	4,79	<0,001
Om, μ S/min	0,38	0,33	1,78	1,05	<0,001
Sujaudinimai, kartais/min	3,03	1,29	5,66	1,16	<0,001
Plotas, s* μ S/min	0,78	0,64	4,46	2,76	<0,001

Kaip ir HRV atveju atlikus palyginimą tarp atskirų tyrime naudotų testų stebimi skirtumai, kurie pateikiami ketvirtame priede bei vizualiai 27 paveiksle. Šiuo atveju skirtumai tarp skirtingų testų nėra dideli ir nei vienu atveju nėra priešingi tiems, kurie buvo prognozuojami remiantis literatūros analizės metu nustatytais panašaus pobūdžio tyrimais. Atlikto „Mann-Whitney U“ testo tarp imčių rezultatai pateikiami 6 lentelėje. Abiejų testų atveju streso būsenos pokyčiai yra panašūs, t.y. EDA streso vertinimo atveju abiejų testų sukeliamas streso lygis yra praktiškai toks pat.

6 lentelė. Individualiai normuotų EDA parametų viso tyrimo bei atskirų testų metu p vertės gautos „Mann-Whitney U“ testo metu

Tiriama imtis	Vidurkis	Od per minutę	Om per minutę	Sujaudinimai per minutę	Plotas per minutę
Viso tyrimo metu	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Tik SCWT	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Tik ADD3	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001



27 pav. EDA parametrų palyginimas bendru, a, bei atskirų testų atvejais, b – SCWT, c – ADD3. Kiekvieno parametro atveju kairėje esanti imtis – ramybės būsenos pasiskirstymas, dešinėje – streso būsenos. Pilkas kai kurių parametrų fonas tik aiškesniam vizualiam atskirymui

SSI bei fotopletizmogramos amplitudžių vertinime nustatyta, kad ne visi šviesą sklaidžiantys diodai registravo vienodus streso lygio pokyčius. Pastebėta, kad diodai ant piršto (pirma raidė „P“ lentelėse ir grafikuose), pasižymėjo didesniais skirtumais tarp tirtų būsenų, nei diodai ant riešo (pirma raidė „R“ lentelėse ir grafikuose). Kaip matoma 7 lentelėje, kur palyginamos ramybės bei streso vertės, tik du šviesą sklaidžiantys diodai pasižymėjo ženkliais pokyčiais tarp ramybės ir streso būsenų SSI analizės metu. SSI palyginimas kiekvieno etapo metu pateikiamas penktame priede.

7 lentelė. SSI užregistruotų parametrų palyginimas tarp ramybės ir streso būsenų, kur p – „Mann-Whitney U“ testu gauta p reikšmė. Pirma parametro raidė nurodo šviesą sklaidžiančio diodo poziciją – ant piršto („P“) arba ant riešo („R“), o sekanti raidė spalva: infraraudona („I“), raudona („R“), žalia („Ž“)

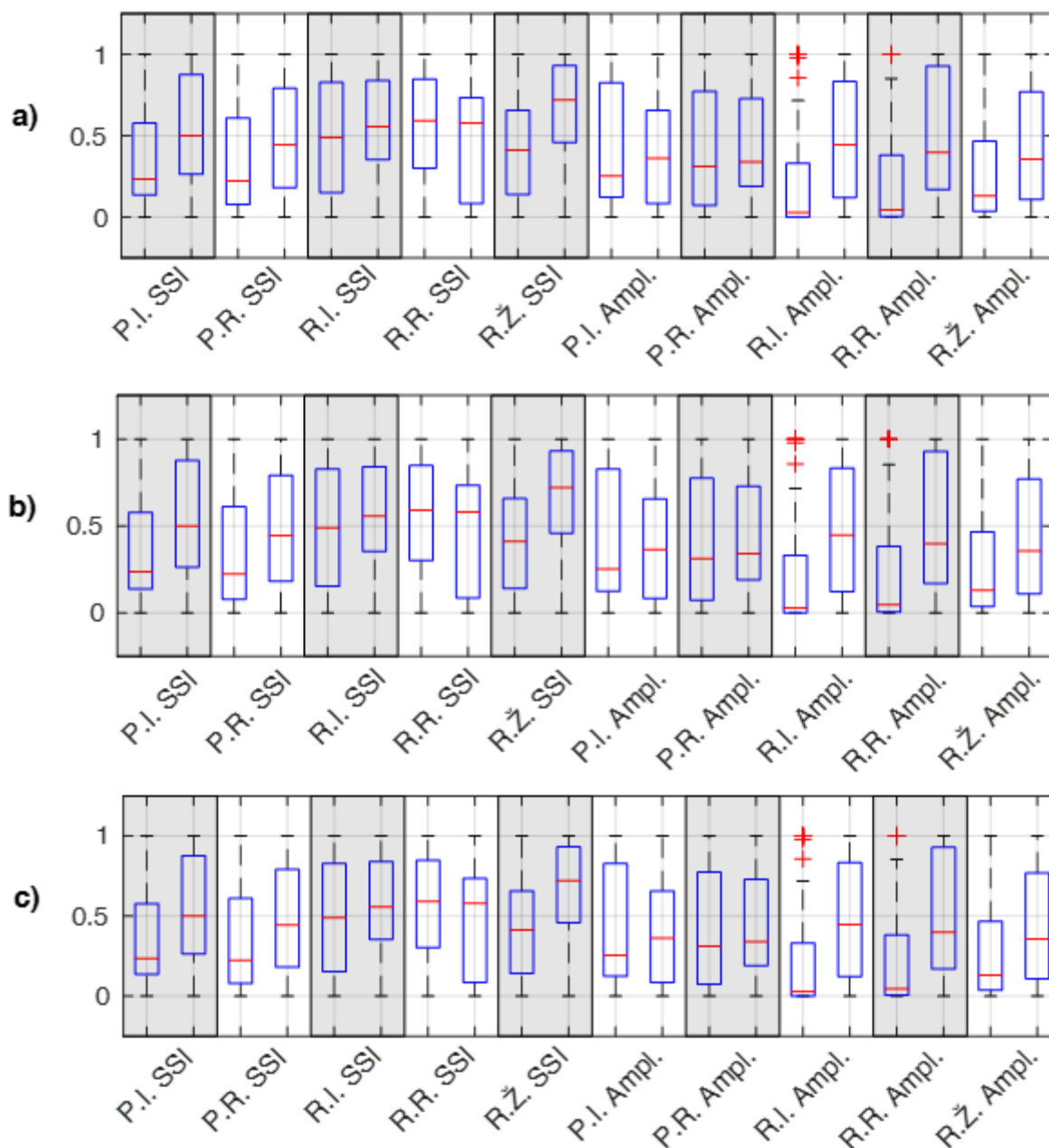
Parametras	Ramybės būsenos		Streso būsenos		p
	Vid.	SN	Vid.	SN	
P.I. SSI	58,94	11,76	64,41	11,82	0,018
P.R. SSI	59,26	11,90	62,78	10,67	0,083
R.I. SSI	75,80	10,91	77,35	8,07	0,570
R.R. SSI	79,94	6,04	78,91	6,72	0,684
R.Ž. SSI	62,96	10,42	70,19	12,03	0,002

Parametras	Ramybės būseną		Streso būseną		p
	Vid.	SN	Vid.	SN	
P.I. Amplitudė	4757,05	6293,15	3289,82	3117,83	0,970
P.R. Amplitudė	3179,49	2904,82	3144,44	2739,99	0,912
R.I. Amplitudė	1158,01	967,83	10178,71	14387,43	<0,001
R.R. Amplitudė	836,78	613,59	7829,99	12230,78	<0,001
R.Ž. Amplitudė	655,19	564,13	2055,17	3299,05	0,005

Lyginant atskirus tyrime atliktus testus rezultatai yra panašūs į tuos, kurie buvo gauti HRV analizės metu. Normuotos visų tyrimo etapų vidurkių bei standartinių nuokrypių vertės pateikiamos šeštame priede, o vizualiai skirtumai tarp ramybės ir streso imčių pavaizduoti 28 paveiksle. Tie šviesą skleidžiantys diodai, kurie bendro palyginimo metu pasižymėjo didžiausiais skirtumais tarp ramybės ir streso būsenos imčių, šio palyginimo metu SCWT testo atveju pasižymi dar didesniu skirtumu, be to, dabar trys iš penkių šviesą skleidžiančių diodų pasižymi ženkliais skirtumais tarp imčių vertinant SSI pokyčius. Nustatyta, kad vienas iš diodų pasižymi atvirkščiais parametrais, streso būsenos SSI yra mažesnis nei ramybės būsenos metu. ADD3 testas ir šio streso vertinimo metodo atveju pasižymi atsitiktiniais rodikliais, kur nei vieno šviesą skleidžiančio diodo registruojama ramybės ir streso būsenų imtis nepasižymi ženkliais skirtumais vertinant SSI. Amplitudžių palyginime 2 šviesą skleidžiantys diodai pasižymi ženkliais skirtumais tarp ramybės ir streso būsenos imčių. „Mann-Whitney U“ testo rezultatai pateikiami 8 lentelėje.

8 lentelė. Individualiai normuotų fotopletizmogramos analizės metu tirtų parametru viso tyrimo bei atskirų testų metu p vertės gautos „Mann-Whitney U“ testo metu. Pirma parametro raidė nurodo šviesą skleidžiančio diodo poziciją – ant piršto („P“) arba ant riešo („R“), o sekanti raidė spalva: infraraudona („I“), raudona („R“), žalia („Ž“)

	P.I. SSI	P.R. SSI	R.I. SSI	R.R. SSI	R.Ž. SSI	P.I. Amp.	P.R. Amp.	R.I. Amp.	R.R. Amp.	R.Ž. Amp.
Viso tyrimo metu	0,004	0,054	0,309	0,337	0,001	0,572	0,529	<0,001	<0,001	0,018
Tik SCWT	<0,001	0,007	0,636	0,182	0,001	0,443	0,918	<0,001	<0,001	0,061
Tik ADD3	0,817	0,811	0,311	0,945	0,089	0,568	0,176	0,027	0,115	0,162



28 pav. SSI parametų palyginimas bendru, a, bei atskirų testų atvejais, b – SCWT, c – ADD3. Kur pirma raidė nurodo šviesą sklaidžiančio diodo poziciją – ant piršto („P“) arba ant riešo („R“), o sekanti raidė spalva: infraraudona („I“), raudona („R“), žalia („Ž“). Kiekvieno parametro atveju kairėje esanti imtis – ramybės būsenos pasiskirstymas, dešinėje – streso būsenos. Pilkas kai kurių parametų fonas tik aiškesniam vizualiam atskyrimui

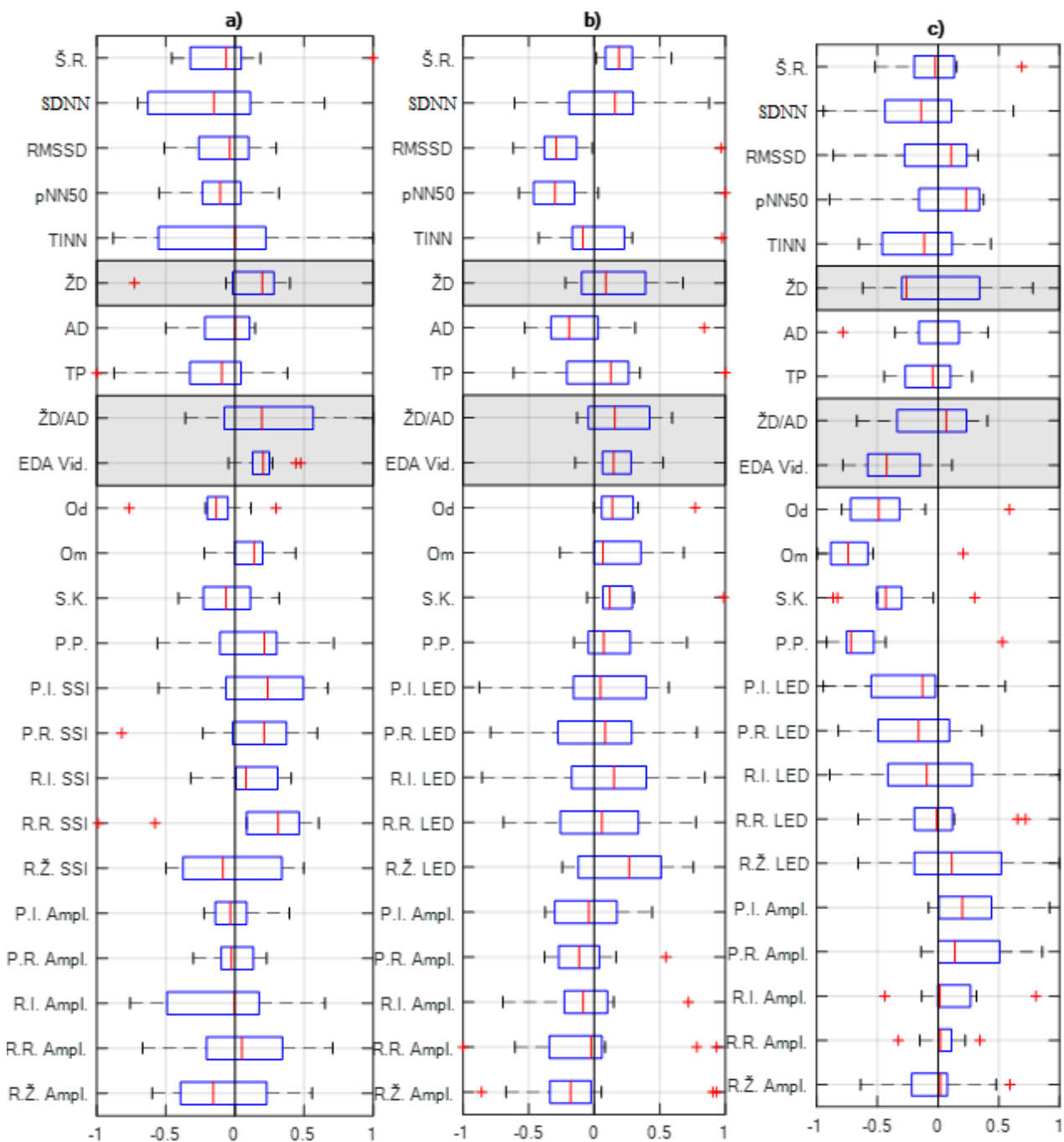
3.2. Temperatūrinio stimuliavimo poveikio analizė

Įvertinus visų tirtų parametų pokyčius, kylančius padidėjusio streso būsenos metu, atliktas naudoto temperatūrinio stimuliavimo įtakos streso būsenos parametrui vertinimas. Šios analizės metu sulyginti identiški tyrimo etapai, vieno kurių metu buvo atliekamas temperatūrinis stimuliavimas, o kito – ne. Ramybės būsenos stimuliavimo atveju lygintas vienas stimuliuojamos ramybės būsenos etapo palyginimas su kitų būsenų vidurkiu. Atlikus Vilkokson'o testą priklausomoms imtims gauti rezultatai pateikiami 9 lentelėje bei 29 grafike. Vizualaus vaizdavimo atveju iš nestimuliuojamų imčių vidurkių atimti stimuliuojamų imčių vidurkiai, taigi jei gaunamos reikšmės didesnės nei 0 tai reiškia,

kad parametras nestimuliuojamo etapo metu didesnis nei stimuliuojamo etapo metu, jei mažesnės nei 0 – atvirkščiai.

9 lentelė. Wilkoxson'o testo rezultatai temperatūrinio stimuliavimo ir neįtakojamiems tyrimo etapams. Pilkai pažymėti didžiausiais vienodo tendencingumo pokyčiais pasižymėję parametrai

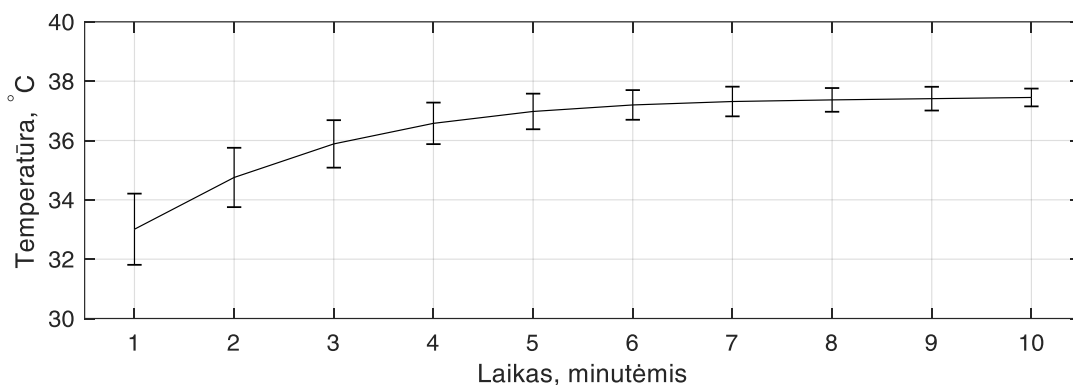
Parametras	SCWT	ADD3	Ramybės būseną
	p	p	p
Širdies ritmas	0,461	0,004	0,734
SDNN	0,313	0,426	0,301
RMSSD	0,547	0,129	1,000
pNN50	0,375	0,164	0,652
TINN	0,742	1,000	0,426
ŽD energija	0,313	0,250	1,000
AD energija	0,383	0,301	1,000
Bendra energija	0,383	0,734	0,742
ŽD/AD santykis	0,195	0,055	1,000
EDA vidurkis	0,001	0,049	0,002
Od per minutę	0,064	0,004	0,027
Om per minutę	0,206	0,098	0,008
Sujaudinimai per minutę	0,470	0,010	0,010
Plotas po kreive per minutę	0,320	0,203	0,012
Piršto infraraudonas LED SSI	0,160	0,569	0,052
Piršto raudonas LED SSI	0,275	0,970	0,110
Riešo infraraudonas LED SSI	0,105	0,519	0,569
Riešo raudonas LED SSI	0,322	0,733	0,850
Riešo žalias LED SSI	0,625	0,077	0,339
Piršto infraraudonas LED ampl.	0,625	0,569	0,012
Piršto raudonas LED ampl.	0,922	0,204	0,034
Riešo infraraudonas LED ampl.	0,625	0,519	0,204
Riešo raudonas LED ampl.	0,695	0,622	0,151
Riešo žalias LED ampl.	0,432	0,266	0,910



29 pav. Stimuliuojamų ir nestimuliuojamų tyrimo etapų palyginimo imčių vizualus atvaizdavimas, a – SCWT testo atveju, b – ADD3 testo atveju, c – ramybės būsenos metu. Kur Š.R. – širdies ritmas, EDA Vid. – EDA vidurkis, P.P. – plotas po sujaudinimo kreive EDA signale, paskutinių dešimt parametrų pirma raidė nurodo šviesą skleidžiančio diodo poziciją – ant piršto („P“) arba ant riešo („R“), o sekanti raidė spalva: infraraudona („I“), raudona („R“), žalia („Ž“). Pilkai išskirti parametrai SCWT ir ADD3 testo atveju pasižymintys didžiausiais skirtumais

Remiantis gautais rezultatais, daugeliu atvejų matoma, kad temperatūrinis stimuliavimas ženklios įtakos neturėjo. Vertinant ramybės būsenos stimuliavimo etapą nustatyta, kad visi EDA parametrai turi pastebimą dėsningumą bei didesnę skirtumą tarp stimuliuojamos ir nestimuliuojamos imčių, tačiau toks gautas parametrų pokytis rodo, kad stimuliavimo metu streso būseną buvo didesnė nei nestimuliuojamo metu. Vertinant abiejų stresą sukeliančių etapų rezultatus didžiausias bendras pokytis matomas EDA normuoto vidurkio pokytyje. SCWT testo atveju stimuliuojant šis šio parametro imčių

panašumo vertė yra 0,006, ADD3 testo metu – 0,109. Abiem atvejais skirtumo kryptingumas rodo, kad stimuliavimo metu šis parametras buvo mažesnis nei nestimuliuojamo metu. Kitas ženkliu pakitęs parametras yra širdies ritmo variabilumo $\check{Z}D/AD$ santykis, kurio imčių skirtumo SCWT testo atveju p vertė yra 0,195, ADD3 testo atveju – 0,078.

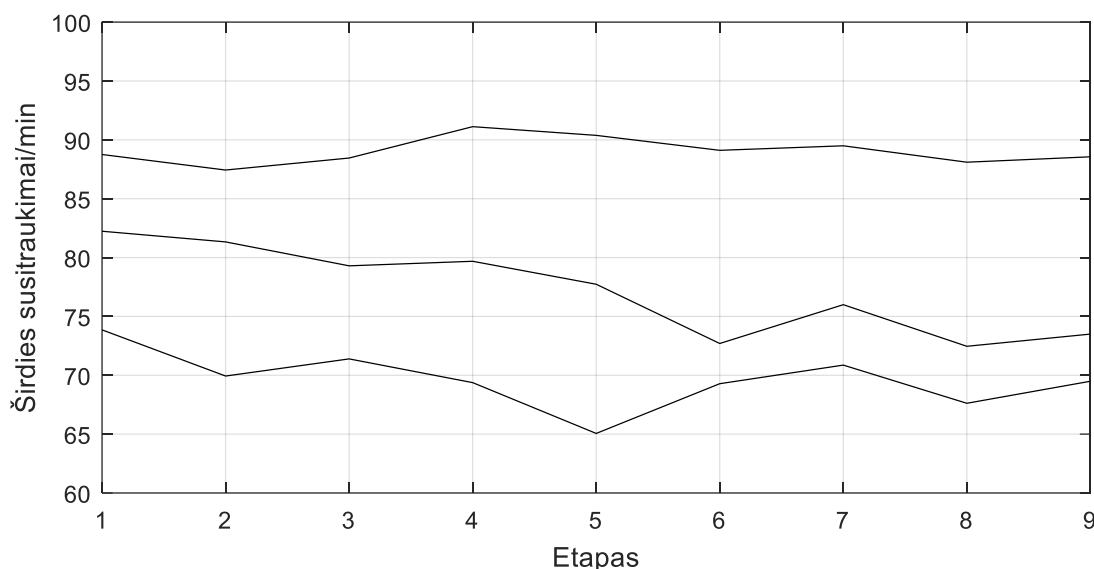


30 pav. Tiriamųjų vidutinė šaltosios Peltjė elemento pusės temperatūra kiekvienos 5 tyrimo etapo minutės metu

Iš pažiūros atsitiktiniai ramybės būsenos stimuliavimo metu stebimi parametrai gali būti aiškinami 30 paveiksle pavaizduota kreive. Joje matoma kaip kito šaltųjų Peltjė elementų pusių temperatūra ne stimuliavimo metu kiekvienos penkto tyrimo etapo minutės metu. Matoma, kad ir pirmų penkių minučių metu temperatūra kito gan ženkliai, tačiau paskutinių 5 minučių metu nestimuliuojant temperatūra buvo artima 37 °C, kas jau gali būti interpretuojama kaip šildymas. Dėl to, gautų ramybės būsenos stimuliavimo rezultatų kreivėse matoma, kad dauguma parametrų išsidėstę atsitiktinai, o EDA rezultatus galima interpretuoti, kaip didesnio streso lygio rezultatus, kas gali būti dėl padidėjusio šildymo sukkelto didesnio prakaitavimo pasekmė.

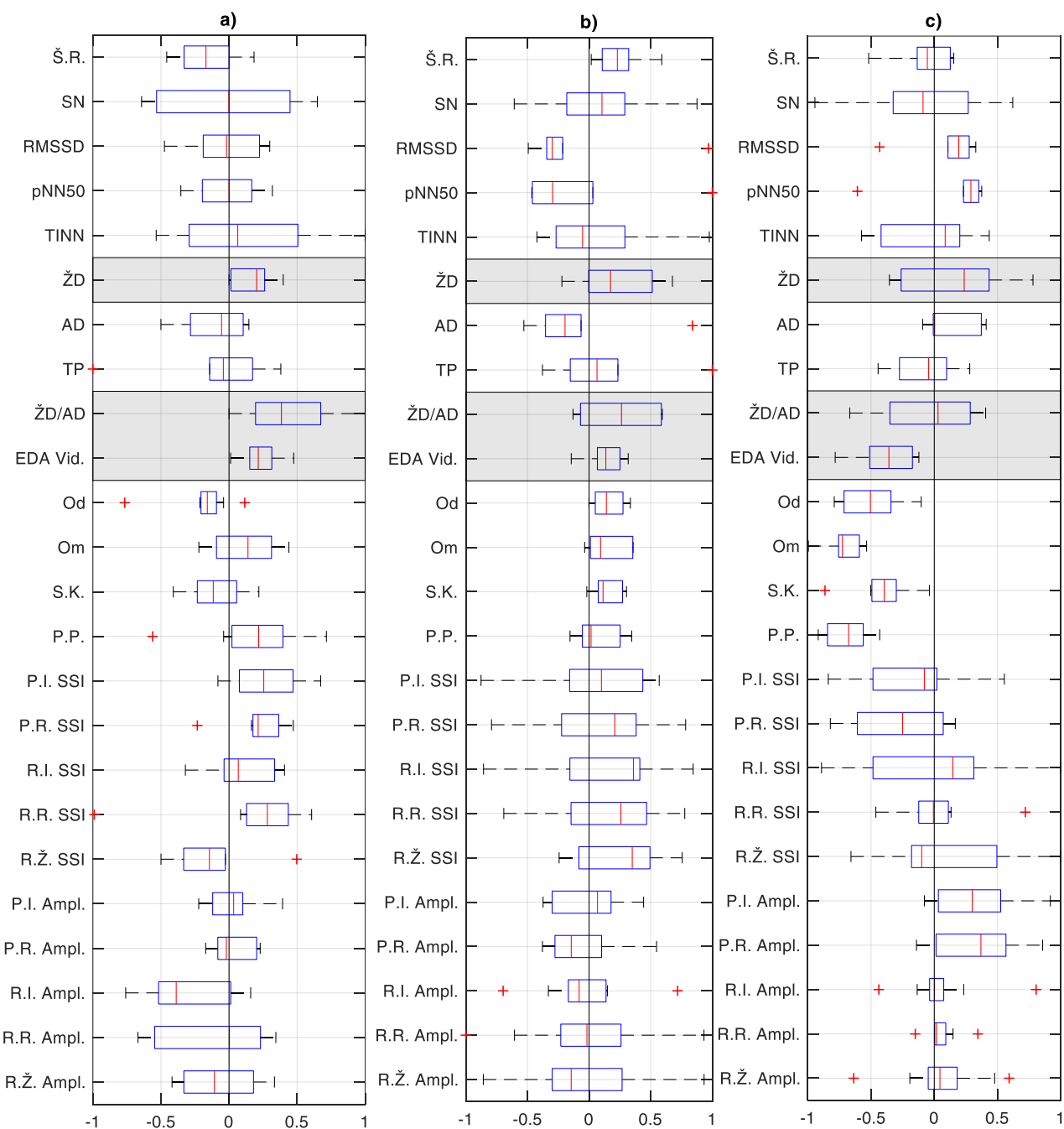
3.3. Temperatūrinio stimuliavimo poveikis atsižvelgiant į išskirtinius atvejus

Kaip minėta duomenų analizės skiltyje, analizuojant duomenis etapai, kurių metu pašalinė įtaka galėjo įtakoti registruojamus parametrus, buvo atmetami. Atsižvelgiant į mažą tiriamųjų imties dydį ir keletas anomalijų atveju gali iškreipti temperatūrinio stimuliavimo rezultatus, kuriuose, priešingai nei ramybės ir streso būsenų vertinime, didelių skirtumų tarp stimuliuojamo ir nestimuliuojamo etapų pokyčių, remiantis literatūros analize, nėra tikimasi. Dėl šios priežasties pakartotinio temperatūrinio stimuliavimo poveikio rezultatų analizės metu atmetami tiriamųjų, kurie pasižymėjo anomaliais streso ir ramybės būsenų parametrais, rezultatai. Kaip atmetimo kriterijus naudojamas tyrimo metu gautas širdies ritmo dažnumas, kuris yra aiškiausias pakitusios fizinės ar psichologinės būsenos parametras. Atmestų atvejų širdies ritmo dažnių tarp etapų vizualūs pokyčiai pavaizduoti 31 paveiksle, kuriame matoma, kad atliekama veikla praktiškai neturėjo įtakos širdies ritmo dažniui. Kadangi temperatūriniu stimuliavimu tiriami streso būsenos pokyčiai, tirti pokyčius tiriamiesiems, kurie, pagal ko ne atraminį parametą, atrodo nepaveikti streso, gali būti beprasmiška ir dėl mažo tiriamųjų imties dydžio gali neigiamai iškreipti gaunamus rezultatus.



31 pav. Trijų išskirtinių atvejų metu gautos širdies ritmo dažnio kreivės kiekvieno etapo metu

Atmetus šiuos atvejus temperatūrinio stimuliavimo įtakos vizualus palyginimas pateikiamas 32 paveiksle. Jame matoma, kad abu anksčiau stebėti parametrai – ŽD/AD santykis, bei normalizuota EDA vidutinė reikšmė – dabar pasižymi didesniu imčių skirtumu tarp stimuliuojamo ir nestimuliuojamo etapų tiek SCWT tiek ADD3 atveju. Dabar, kaip pakitusi imtis didesniu skirtumu pasižymi ir žemų dažnių energija, kuri yra HRV parametras. Vertinant tik ADD3 testo pokyčius, matoma, kad sumažėjo visi EDA rodikliai. Žemų dažnių energija po išskirtinių atvejų atmetimo SCWT testo metu nesumažėjo tik vienam tiriamajam, o ADD3 testo atveju dviem tiriamiesiems. Žemų ir aukštų dažnių energijos santykis SCWT testo meto stimuliuojant sumažėjo visais atvejais, ADD3 testo metu sumažėjimas nebuvo stebimas 2 atvejais. EDA vidutinės vertės stimuliavimo metu SCWT testo atveju sumažėjo visais atvejais, o ADD3 sumažėjo visais išskyrus vieną atvejį. Vikokson'o testo p vertės šiems trimis parametrams šiuo atveju yra: SCWT testo atveju ŽD energijos $p = 0,063$, ŽD/AD santykio $p = 0,063$, EDA vidurkio $p = 0,004$. ADD3 atveju ŽD energijos $p = 0,219$, ŽD/AD santykio $p = 0,094$, EDA vidurkio $p = 0,109$. Stebimi p padidėjimai yra dėl sumažėjusios imties dydžio, kai Vikokson'o metodu vertinant nulinę hipotezę lieka vienodas skaičius hipotezę patvirtinančių imties narių, bet sumažėja hipotezę atmetančių imties narių.



32 pav. Stimuliuojamų ir nestimuliuojamų tyrimo etapų palyginimo imčių vizualus atvaizdavimas atmetus išskirtinius atvejus, a – SCWT testo atveju, b – ADD3 testo atveju, c – ramybės būsenos metu. Kur Š.R. – širdies ritmas, SN – standartinis nuokrypis, EDA Vid. – EDA vidurkis, P.P. – plotas po sujaudinimo kreivę EDA signale, paskutinių dešimties parametrų pirma raidė nurodo šviesą skleidžiančio diodo poziciją – ant piršto („P“) arba ant riešo („R“), o sekanti raidė spalva: infraraudona („I“), raudona („R“), žalia („Ž“). Pilkai išskirti parametrai SCWT ir ADD3 testo atveju pasižymintys didžiausiais skirtumais

4. Diskusija

Atliktus surinktų duomenų analizę, rasti trijų parametru: žemų dažnių energijos, žemų ir aukštų dažnių energijos santykio bei EDA vidurkio, pokyčiai temperatūriškai stimuliuojamuose tyrimo etapuose SCWT ir ADD3 testų metu. Ramybės būsenos metu, kai buvo stimuliuojama, pagrindiniai pokyčiai stebimi EDA parametruose. Tačiau šie pokyčiai indikuoja didesnę streso vertinimo rodiklį temperatūrinio stimuliavimo metu. Tai gali būti aiškinama tuo, kad stimuliavimo laikas stresą keliančių testų metu buvo 5 minutės, o ramybės būsenos metu 10 minučių. Dėl galimai šiltos aplinkos, bei įvairios tiriamųjų laikysenos ant kaklo naudoti Peltjė elementai veikdami 10 minučių galėjo pilnai neataušti. Dėl to galėjo būti stebimas ir šildymas tarp šaldymo periodų, nes Peltjė elemento struktūra į aplinką nespėjama atiduoti šilumą, per patį Peltjė elementą galėjo perduoti į tiriamųjų odą. Tai paaiškintų pakitusius EDA parametrus, kadangi EDA matuoja prakaitavimo lygį, o vagus nervas yra naudojamas sensorinei informacijai perduoti, jo pašildymas galėjo įtakoti prakaitavimo lygį.

HRV bei SSI streso ir ramybės būsenų analizės metu nustatyta, kad ADD3 testas pasižymėjo ko ne atsitiktiniais rezultatais. Apžvelgiant tyrimus su stresą sukeliančiais testais nustatyta, kad žmonės gali skirtingai reaguoti į skirtingus stresą sukeliančius stimulus, tačiau dabartiniai duomenys rodo, kad tiriamieji mažiau reagavo į atminties lavinimą bei aritmetiniais skaičiavimais grįstą ADD3 testą. Dabartinio tyrimo atveju tai gali būti aiškinama tuo, kad leidžiant tiriamiesiems susipažinti su atliekamais testais kartu nustatomas ir jų testo atlikimo greitis, kuris ADD3 testo metu kinta tik pagal tai, kaip nustatoma ir nepriklauso nuo tiriamojo testo atlikimo greičio. Kitaip tariant, SCWT testo atveju tiriamajam pasirinkus norimą variantą testo metu iškart duodama sekanti užduotis ir tik nespėjus pasirinkti per užduotą laiko tarpą vyksta automatinis pasikeitimas. ADD3 testo atveju tiriamajam apsiprantant su atliekamomis testo užduotimis, jo įgūdžiai gerėja, todėl jis gali skaičiavimus atlikti greičiau, tačiau testo greitis šiuo atveju nepriklauso nuo atlikimo spartos, o tik nuo užduoto greičio, kuris parenkamas tyrimo pradžioje tiriamajam susipažįstant su tyrimo eiga. Todėl tiriamajam atliekant testą jau tyrimo metu, jis gali atlikti greičiau ir jam belieka laukti kol pasikeis užduotis, o laukimas gali sumažinti streso lygį.

Kito testo, SCWT, metu nustatyta, kad dauguma literatūroje aptartų su stresu susijusių parametru kito kaip tikėtasi visų matuojamų parametru atveju. Dėl mažos tiriamųjų imties šie pokyčiai tarp ramybės ir streso būsenų geriausiai buvo stebimi tik individualiai normalizavus visus parametrus, tačiau EDA bei SSI atveju pokyčiai tarp dviejų tirtų būsenų buvo stebimi ir nenormavus duomenų. Normavimas visais atvejais padidino skiriamumą tarp abiejų būsenų. Be to, tiek EDA, tiek SSI nereikalauja didelio duomenų apdorojimo norint iš jų registruojamų signalų – odos paviršiaus laidumo bei fotopletizmogramos – išgauti pačius streso vertinimo kriterijus. Verta paminėti ir tai, vienas iš šių metodų – pletizmografija – yra gan dažnai taikomas išmaniuosiuose įrenginiuose, pavyzdžiui, apyrankėse, kur iš šio signalo išgaunamas tik širdies ritmas. EDA registravimo išgavimui reikalingi tik keletas elektrodų bei varžos matavimo elektrinė grandinė. Tai reiškia, kad teoriškai streso vertinimas gali būti įgyvendintas realiu laiku minimaliai modifikuotuose dabar rinkoje esančiuose išmaniuosiuose įrenginiuose.

Siekiant tikslesnių rezultatų, būtų pravartu atlikti panašaus pobūdžio tyrimą, kurio metu nenaudojamas joks stimuliavimas, o visa kita tyrimo eiga yra ta pati. Kaip minėta ankstesnių diskusijos punktų metu atliekant tuos pačius testus kelis kartus tiriamieji su jais labiau apsipranta ir gali juos atlikti greičiau. Neverta atmesti ir to, kad apsipratimo su testais metu jų sukeliamas stresas taip pat gali kisti. Galbūt kartojant tą patį testą kelis kartus, yra sukuriamas vis mažesnis psichologinis

stresas, todėl pokyčiai tarp testų gali būti ir apsipratimo pasekmė. Be to, yra galimybė, kad ir atliekant skirtingus testus su pertraukomis tarp jų, organizmas apsipranta su streso būsenomis, todėl po kiekvieno streso etapo sugrįžimas į ramybės būseną nėra vienodas, o vis lėtėja siekiant prisitaikyti prie reguliarių stresą sukeliančių stimulų. Visa tai nagrinėja psichologiniai mokslai ir tikslių tyrimų, kuriuose tiriamos panašios situacijos rasti nepavyko, todėl visa tai kol kas lieka spekuliacijų pavidalu. Kartojant tyrimus be stimulo atsirastų galimybė ištirti šį reiškinį, kas, galbūt, padėtų plačiau susipažinti su psichologinio streso ypatumais bei padėtų lengviau atskirti kas yra stimuliavimo įtaka ir kas yra tiesiog žmogaus organizmo pokyčiai.

Nors atlikto tyrimo metu ir pastebėti streso vertinimo parametrų pokyčiai, kuriuos sukėlė temperatūrinis stimuliavimas, siekiant gauti daugiau informacijos apie sukeliamus pokyčius būtų pravartu atlikti tyrimus su daugiau įvairių temperatūrinio stimuliavimo parametrų. Dabar naudoti 3 sekundžių stimuliavimo 20 °C temperatūra ir 27 sekundžių pertraukos nustatymai buvo apriboti pasyvaus Peltjė elementų aušinimo. Kaip ir minėta viename ankstesnių diskusijos punktų, neaišku, ar tokie nustatymai buvo pakankami tinkamam aušinimui, kai bendra stimuliavimo trukmė 10 minučių. Esant galimybei tyrimai su ilgesniu stimuliavimu gali suteikti didesnius ir aiškesnius skirtumus, jei tokie iš tikrųjų yra.

Peltjė elementų pozicionavimas kaklo srityje taip pat galėjo įtakoti tyrimo rezultatus. Gautas Peltjė elemento stimuliavimo dydis yra 14 mm kraštinės ilgio dydžio kvadratas. Nors jo poziciją ant vagus nervo buvo bandoma pritaikyti kuo tiksliau, negalima atmesti galimybės, kad tiriamiesiems judant Peltjė elemento padėtis galėjo pasikeisti. Be to, buvo atvejų, kai tiriamieji teigė, kad jaučiamas per didelis užveržimas kakle, todėl atlaisvinus kaklo Peltjė elementų laikiklį tyrimo eigoje galėjo pasikeisti stimuliavimo vieta. Kadangi buvo tiriamųjų su barzdomis, stimuliavimo efektyvumas galėjo sumažėti dėl nepakankamo kontakto su oda.

Išvados

1. Sukurta aparatinė įranga temperatūrinio stimuliavimo poveikiui ištirti. Šiam stimuliavimo būdu naudoti Peltjė elementai, kurie buvo pasyviai aušinami variniu radiatoriumi. Šis pasirinkimas įtakotas to, kad taip užtikrinamas nedidelis ir diskomforto tiriamajam nesukeliantis stimuliavimas, kas buvo vienas prioritetų turint omenyje, kad bet koks diskomfortą keliantis reiškinys tyrimų metu galėjo turėti įtakos juntamo streso lygiui. Nors pradinio įrangos testavimo metu didelių trūkumų su šiuo stimuliavimo būdu nerasta, atliekant tyrimus realiomis sąlygomis pastebėtas galimas Peltjė elementų aušinimo efektyvumo trūkumas. Likusi sukurtos aparatinės įrangos dalis veikė be didesnių trikdžių. Dėl pasirinkto valdymo bloko pozicijos viršutinėje nugaros dalyje buvo sumažintas laidų ilgis, kas užtikrino perduodamų duomenų paprastą persiuntimą ir sklandžią veiklą. Tai reiškia, kad visi registruojami signalai tarp krūtinės duomenų registratoriaus, kaklo stimulatoriaus bei valdymo bloko buvo perduodami be artefaktų, kas palengvino bendrą duomenų apdorojimą. Be to, visos sukurtos įrangos dalys buvo lengvos ir patogios, tai yra papildomas aparatinės įrangos privalumas.
2. Sukurtas tyrimo protokolas leido vertinti skirtumus tarp skirtingų psichologinio stimuliavimo būdų: aritmetinių skaičiavimų bei atminties lavinimo užduočių ir kognityvinių gebėjimų tikrinimo užduočių. Šio tyrimo metu nustatyta, kad spalvų atpažinimo testas tiriamiesiems sukėlė didesnius tirtų fiziologinių parametrų pokyčius tarp ramybės ir streso būsenų. Buvo daugiau fiziologinių parametrų, kurie aritmetinių skaičiavimų testo atveju nepasižymėjo jokiais skirtumais tarp ramybės ir streso būsenų. Galimos šio reiškinio priežastys aptariamose diskusijų skiltyje. Kadangi buvo pasirinktas ne vienas testas, o du, tai net ir vienam jų buvus mažiau efektyviam, kito testo metu gauti duomenys leido rasti parametrus su didžiausiais skirtumais tarp ramybės ir streso būsenų. Šie parametrai daugeliu atvejų sutapo su literatūros analizės metu nustatytais panašaus tipo tyrimų duomenimis.
3. Surinkus duomenis ir pradėjus apdorojimą, buvo nustatyti parametrai pasižymintys skirtumais tarp ramybės ir streso būsenų šio tyrimo metu tirtos imties atveju. Individualiai sunormavus visų etapų duomenis kiekvienam tiriamajam, o po to tik atskirų testų etapų duomenis, gauti didžiausi skirtumai tarp ramybės ir streso būsenos imčių. Pagal gautus didžiausius skirtumus vėliau palyginti stimuliuojamų tyrimo etapų parametrai su nestimuliuojamų tokio pat pobūdžio etapų duomenimis ir nustatyta, kad du parametrai pasižymėjo didesniais pokyčiais nei kiti abiejų testų atveju – žemų ir aukštų dažnių santykis HRV analizės metu bei EDA vidutinė vertė. Žemų ir aukštų dažnių santykio Vilkokson'o testu gautos p vertės buvo 0,195 SCWT testo atveju ir 0,055 ADD3 testo atveju. EDA vidurkio p vertės buvo 0,001 SCWT testo atveju ir 0,049 ADD3 testo atveju. Po to, atliekant pakartotinę duomenų patikrą radus kelis anomalius atvejus, tiriamuosius, kurių širdies ritmo dažnis buvo nepakitęs, ir juos atmetus iš tiriamos duomenų imties gauti dviejų minėtų skirtumai tapo dar ženkliesni. SCWT testo atveju HRV parametro p vertė tapo 0,063, EDA vidurkio 0,004, ADD3 testo atveju atitinkamai 0,094 ir 0,109. Įvedus tokią korekciją atsirado ir trečias pakitęs parametras – žemų dažnių energija su p verte 0,063 SCWT testo atveju ir 0,219 ADD3 testo atveju.

Literatūros sąrašas

1. ALEXOPOULOS, E.C. et al. Exploring stress levels, job satisfaction, and quality of life in a sample of police officers in Greece. *Safety and health at work* [interaktyvus]. Occupational Safety and Health Research Institute, 2014, vol. 5(4), 210–5. [žiūrėta 2019-04-01]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25516814>
2. MARIOTTI, A. The effects of chronic stress on health: new insights into the molecular mechanisms of brain–body communication. *Future Science OA* [interaktyvus]. Future Science Group, 2015, vol. 1(3), FSO23. [žiūrėta 2019-04-01]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28031896>
3. WIEGNER, L. et al. Prevalence of perceived stress and associations to symptoms of exhaustion, depression and anxiety in a working age population seeking primary care - an observational study. *BMC Family Practice* [interaktyvus]. BioMed Central, 2015, vol. 16(1), 38. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://bmcfampract.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12875-015-0252-7>
4. AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION Are Teens Adopting Adults' Stress Habits? *American Psychological Association* [interaktyvus]. 2014, [žiūrėta 2019-02-11]. Prieiga per: <https://www.apa.org/news/press/releases/stress/2013/stress-report.pdf>
5. AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION and AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION Stress in America: The State of Our Nation. *Stress in America Survey*. [interaktyvus]. 2017. [žiūrėta 2018-02-21]. Prieiga per: <https://www.apa.org/news/press/releases/stress/2017/state-nation.pdf>
6. Work related stress, depression or anxiety in Great Britain, 2018. 2019. [žiūrėta 2019-02-01]. Prieiga per: <http://www.hse.gov.uk/statistics/causdis/stress/index.htm>
7. HASSARD, J. et al. Calculating the cost of work-related stress and psychosocial risks - European Risk Observatory. 2014, [žiūrėta 2019-02-11]. Prieiga per: https://osha.europa.eu/en/node/6681/file_view
8. CHIESA, A. and SERRETTI, A. Mindfulness-Based Stress Reduction for Stress Management in Healthy People: A Review and Meta-Analysis. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* [interaktyvus]. Mary Ann Liebert, 2009, vol. 15(5), 593–600. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.liebertpub.com/doi/10.1089/acm.2008.0495>
9. KOGLER, L. et al. Psychosocial versus physiological stress - Meta-analyses on deactivations and activations of the neural correlates of stress reactions. *NeuroImage* [interaktyvus]. Elsevier, 2015, vol. 119(29), 235–251. [žiūrėta 2019-02-02]. Prieiga per: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4564342/pdf/nihms709946.pdf>
10. BETHUNE, S. Teen stress rivals that of adults. *Monitor on Psychology* [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.apa.org/news/press/releases/2014/02/teen-stress>
11. ULRICH, R.S. et al. Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology* [interaktyvus]. Academic Press, 1991, vol. 11(3), 201–230. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272494405801847>
12. WON, E. and KIM, Y.-K. Stress, the Autonomic Nervous System, and the Immune-kynurenine Pathway in the Etiology of Depression. *Current Neuropharmacology* [interaktyvus]. Bentham Science, 2016, vol. 14(7), 665–673. [žiūrėta 2019-03-01]. Prieiga per: <http://www.eurekaselect.com/openurl/content.php?genre=article&iissn=1570-159X&volume=14&issue=7&spage=665>

13. Understanding the stress response - Harvard Health. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/understanding-the-stress-response>
14. KIRSCHBAUM, C. et al. The 'Trier Social Stress Test' – A Tool for Investigating Psychobiological Stress Responses in a Laboratory Setting. *Neuropsychobiology* [interaktyvus]. Karger Publishers, 1993, vol. 28(1–2), 76–81. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8255414>
15. KAHNEMAN, D. *Thinking, fast and slow*. 499 p. ISBN 1429969350
16. STROOP, J.R. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology* [interaktyvus]. American Psychological Association, 1935, vol. 18(6), 643–662. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://content.apa.org/journals/xge/18/6/643>
17. ARZA, A. et al. Measuring acute stress response through physiological signals: towards a quantitative assessment of stress. *Medical & Biological Engineering & Computing* [interaktyvus]. Springer Berlin Heidelberg, 2019, vol. 57(1), 271–287. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://link.springer.com/10.1007/s11517-018-1879-z>
18. MESTANIK, M. et al. Cardiovascular sympathetic arousal in response to different mental stressors. *Physiological research* [interaktyvus]. 2015, vol. 64 Suppl 5, S585-94. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26674281>
19. Stress at work. 2012. [žiūrēta 2019-03-01]. Prieiga per: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/99-101/>
20. MINISTRY OF HEALTH LABOUR AND WELFARE The Brief Job Stress Questionnaire English version. *Ministry of Health, Labour and Welfare* [interaktyvus]. 2016. [žiūrēta 2019-01-21]. Prieiga per: <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei12/dl/160621-1.pdf>
21. ISMA Stress questionnaire. *International Stress Management Association UK* [interaktyvus]. 2013.
22. TSUTSUMI, A. et al. How accurately does the Brief Job Stress Questionnaire identify workers with or without potential psychological distress? *Journal of occupational health* [interaktyvus]. Wiley-Blackwell, 2017, vol. 59(4), 356–360. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28515373>
23. HELLHAMMER, D.H. et al. Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology* [interaktyvus]. Pergamon, 2009, vol. 34(2), 163–171. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306453008002990>
24. SHAFFER, F. et al. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology* [interaktyvus]. 2014, vol. 5(September), 1–19. Prieiga per: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2014.01040/abstract>
25. HUIKURI, H. V. et al. Reproducibility and circadian rhythm of heart rate variability in healthy subjects. *The American Journal of Cardiology* [interaktyvus]. Excerpta Medica, 1990, vol. 65(5), 391–393. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000291499090308N?via%3Dihub>
26. LEICHT, A.S. et al. Heart rate variability and endogenous sex hormones during the menstrual cycle in young women. *Experimental Physiology* [interaktyvus]. 2003, vol. 88(3), 441–446.
27. DEGIORGIO, C.M. et al. RMSSD, a measure of vagus-mediated heart rate variability, is associated with risk factors for SUDEP: the SUDEP-7 Inventory. *Epilepsy & behavior: E&B* [interaktyvus]. NIH Public Access, 2010, vol. 19(1), 78–81. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20667792>

28. ZULFIQAR, U. et al. Relation of High Heart Rate Variability to Healthy Longevity. *The American Journal of Cardiology* [interaktyvus]. Excerpta Medica, 2010, vol. 105(8), 1181–1185. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002914909028525>
29. THAYER, J.F. et al. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [interaktyvus]. Pergamon, 2012, vol. 36(2), 747–756. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149763411002077>
30. KIM, H.-G. et al. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation* [interaktyvus]. 2018, vol. 15(3), 235–245. [žiūrėta 2019-04-08]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29486547>
31. BOUCSEIN, W. *Electrodermal Acitivity Second Edition* . 2012. ISBN 9781461411253
32. ZANGRÓNIZ, R. et al. Electrodermal Activity Sensor for Classification of Calm/Distress Condition. *Sensors (Basel, Switzerland)* [interaktyvus]. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2017, vol. 17(10). [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29023403>
33. FARROW, T.F.D. et al. Neural correlates of the behavioral-autonomic interaction response to potentially threatening stimuli. *Frontiers in Human Neuroscience* [interaktyvus]. Frontiers, 2013, vol. 6, 349. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2012.00349/abstract>
34. LANATA, A. et al. How the Autonomic Nervous System and Driving Style Change With Incremental Stressing Conditions During Simulated Driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* [interaktyvus]. 2015, vol. 16(3), 1505–1517. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6964800/>
35. PALOHEIMO, M. et al. Assessment of surgical stress during general anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia* [interaktyvus]. 2007, vol. 98(4), 447–455. [žiūrėta 2019-02-04]. Prieiga per: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17329347>
36. AHONEN, J. et al. Surgical stress index reflects surgical stress in gynaecological laparoscopic day-case surgery. *British Journal of Anaesthesia* [interaktyvus]. Elsevier, 2007, vol. 98(4), 456–461. [žiūrėta 2019-02-04]. Prieiga per: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17350969>
37. RICHARDSON, K.M. and ROTHSTEIN, H.R. Effects of occupational stress management intervention programs: A meta-analysis. *Journal of Occupational Health Psychology* [interaktyvus]. American Psychological Association, 2008, vol. 13(1), 69–93. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/1076-8998.13.1.69>
38. YUAN, H. and SILBERSTEIN, S.D. Vagus Nerve and Vagus Nerve Stimulation, a Comprehensive Review: Part I. *Headache: The Journal of Head and Face Pain* [interaktyvus]. Wiley Online Library, 2016, vol. 56(1), 71–78. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26364692>
39. BEN-MENACHEM, E. Vagus-nerve stimulation for the treatment of epilepsy. *The Lancet Neurology* [interaktyvus]. Elsevier, 2002, vol. 1(8), 477–482. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147444220200220X>
40. YUAN, H. and SILBERSTEIN, S.D. Vagus Nerve and Vagus Nerve Stimulation, a Comprehensive Review: Part III. *Headache: The Journal of Head and Face Pain* [interaktyvus].

- Wiley Online Library, 2016, vol. 56(3), 479–490. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://doi.wiley.com/10.1111/head.12649>
41. NEMEROFF, C.B. et al. VNS Therapy in Treatment-Resistant Depression: Clinical Evidence and Putative Neurobiological Mechanisms. *Neuropsychopharmacology* [interaktyvus]. Nature, 2006, vol. 31(7), 1345–1355. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.nature.com/articles/1301082>
 42. PORGES, S.W. Cardiac vagal tone: A physiological index of stress. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [interaktyvus]. 1995, vol. 19(2), 225–233. [žiūrēta 2019-02-24]. Prieiga per: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/014976349400066A>
 43. YAKUNINA, N. et al. Optimization of Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation Using Functional MRI. *Neuromodulation: journal of the International Neuromodulation Society* [interaktyvus]. Wiley Online Library, 2017, vol. 20(3), 290–300. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27898202>
 44. PLANITZER, U. et al. Positional Relations of the Cervical Vagus Nerve Revisited. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface* [interaktyvus]. Wiley Online Library, 2017, vol. 20(4), 361–368. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28145065>
 45. Role of the vagus nerve in epilepsy: MedlinePlus Medical Encyclopedia Image. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://medlineplus.gov/ency/imagepages/19252.htm>
 46. YUAN, H. and SILBERSTEIN, S.D. Vagus Nerve and Vagus Nerve Stimulation, a Comprehensive Review: Part II. *Headache: The Journal of Head and Face Pain* [interaktyvus]. Wiley Online Library, 2016, vol. 56(2), 259–266. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26381725>
 47. HUNTER, T.B. et al. Medical Devices of the Head, Neck, and Spine. *RadioGraphics* [interaktyvus]. Radiological Society of North America, 2004, vol. 24(1), 257–285. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.241035185>
 48. BERGLAND, C. Vagus Nerve Stimulation Holds Promise for Treating Addiction. *Psychology Today* [interaktyvus]. [žiūrēta 2019-03-01]. Prieiga per: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-athletes-way/201701/vagus-nerve-stimulation-holds-promise-treating-addiction>
 49. ZUMSTEG, D. et al. Vocal cord adduction during vagus nerve stimulation for treatment of epilepsy. *Neurology* [interaktyvus]. Wolters Kluwer Health, Inc. on behalf of the American Academy of Neurology, 2000, vol. 54(6), 1388–9. [žiūrēta 2019-04-01]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10746619>
 50. RÉVÉSZ, D. et al. Complications and safety of vagus nerve stimulation: 25 years of experience at a single center. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics* [interaktyvus]. 2016, vol. 18(1), 97–104. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://thejns.org/view/journals/j-neurosurg-pediatr/18/1/article-p97.xml>
 51. ANNEGERS, J.F. et al. Epilepsy, Vagal Nerve Stimulation by the NCP System, Mortality, and Sudden, Unexpected, Unexplained Death. *Epilepsia* [interaktyvus]. Wiley Online Library, 1998, vol. 39(2), 206–212. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1528-1157.1998.tb01360.x>
 52. gammaCore®, the First Non-Invasive Vagus Nerve Stimulator Applied at the Neck, Now Available for Adult Patients in the U.S. - electroCore. [žiūrēta 2019-03-28]. Prieiga per:

- <https://www.electrocore.com/news/gammacore-the-first-non-invasive-vagus-nerve-stimulator-applied-at-the-neck-now-available-for-adult-patients-in-the-u-s/>
53. Innovative non-drug relief for migraine & cluster headache - gammaCore. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.gammacore.com/>
 54. VOELKER, R. Opioid Withdrawal Symptoms Subside With Cranial Nerve Stimulation. *JAMA* [interaktyvus]. 2018, vol. 319(1), 14. Prieiga per: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L623025578%0Ahttp://dx.doi.org/10.1001/jama.2018.8554>
 55. GOADSBY, P. et al. Effect of noninvasive vagus nerve stimulation on acute migraine: An open-label pilot study. *Cephalalgia* [interaktyvus]. SAGE journals, 2014, vol. 34(12), 986–993. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24607501>
 56. A.D., N. et al. Initial use of a novel noninvasive vagus nerve stimulator for cluster headache treatment. *Neurology* [interaktyvus]. 2015, vol. 84(12), 1249–1253.
 57. WESSON, D.R. and LING, W. The Clinical Opiate Withdrawal Scale (COWS). *Journal of Psychoactive Drugs* [interaktyvus]. 2003, vol. 35(2), 253–259. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02791072.2003.10400007>
 58. SaluSTIM tVNS stimulator. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.tinnitustalk.com/attachments/salustim-tvns-tinnitus-open-jpg.8006/>
 59. Nemos tVNS stimulator. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: http://www.implantable-device.com/wp-content/uploads/2013/12/Cerbomed_Nemos.jpg
 60. Vagus tVNS — American Brain Stimulation Clinic. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://brainstimulationclinic.squarespace.com/vagus>
 61. STEFAN, H. et al. Transcutaneous vagus nerve stimulation (t-VNS) in pharmaco-resistant epilepsies: A proof of concept trial. *Epilepsia* [interaktyvus]. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 2012, vol. 53(7), e115–e118. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1528-1167.2012.03492.x>
 62. GANCHEVA, S. et al. Constant hepatic ATP concentrations during prolonged fasting and absence of effects of Cerbomed Nemos® on parasympathetic tone and hepatic energy metabolism. *Molecular Metabolism* [interaktyvus]. Elsevier, 2018, vol. 7, 71–79. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212877817305380>
 63. HYVÄRINEN, P. et al. Non-invasive vagus nerve stimulation reduces sympathetic preponderance in patients with tinnitus. *Acta Oto-Laryngologica* [interaktyvus]. Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group, 2017, vol. 137(4), 426–431. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1080/00016489.2016.1269197>
 64. getSENSATE reklaminis interneto puslapis. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <https://www.getsensate.com/>
 65. MÄKINEN, T.M. et al. Autonomic nervous function during whole-body cold exposure before and after cold acclimation. *Aviation, space, and environmental medicine* [interaktyvus]. 2008, vol. 79(9), 875–82. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18785356>
 66. BUCHHEIT, M. et al. Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* [interaktyvus]. 2009, vol. 296(2), 421–427. [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19074671>

67. JUNGSMANN, M. et al. Effects of cold stimulation on cardiac-Vagal activation in healthy participants: Randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research* [interaktyvus]. 2018, vol. 20(10). [žiūrėta 2019-02-27]. Prieiga per: <https://formative.jmir.org/2018/2/e10257/>
68. RAINBOW MEDICAL LTD. Peltier unidirectional and selective nerve stimulation. Inventors: Yossi GROSS. US patent US 7761168 B2. 2010-07-20. United States Patent and Trademark Office. [žiūrėta 2019-01-22]. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US7761168B2/en>
69. PHYSIOCUE, INC. Stimulation system, device, and method for use thereof. Inventors: Seon YI, Jose BOLANOS, Leo SOONG. US patent US 2017/0056238 A1. 2017-03-02. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2019-01-22]. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US20170056238A1/en>
70. Plain illustration of the male body. [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per: <https://www.istockphoto.com/vector/plain-illustration-of-the-male-body-gm166007458-22874819>
71. PAN, J. and TOMPKINS, W.J. A Real-Time QRS Detection Algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* [interaktyvus]. 2007, vol. BME-32(3), 230–236.
72. TARVAINEN, M.P. et al. Kubios HRV - Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* [interaktyvus]. Elsevier Ireland Ltd, 2014, vol. 113(1), 210–220. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>
73. SOLOŠENKO, A. et al. Detection of atrial fibrillation using a wrist-worn device. *Physiological measurement* [interaktyvus]. 2019, vol. 40(2), 025003.
74. BACH, D.R. et al. An improved algorithm for model-based analysis of evoked skin conductance responses. *Biological Psychology* [interaktyvus]. Elsevier B.V., 2013, vol. 94(3), 490–497. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.09.010>

Priedai

1 priedas. Gauti HRV parametrai kiekvieno tyrimo etapo metu

Etapas	Parametras	Š.R.	SDNN	RMSSD	pNN50	ŽD	AD	Bendra energija	ŽD/AD
1	Vidurkis	77,79	47,69	29,31	2,95	376,51	610,32	1360,64	2,30
	SD	12,26	16,88	14,91	4,03	228,02	672,99	920,42	1,78
2	Vidurkis	82,27	46,28	26,98	5,79	373,41	261,42	1520,76	3,24
	SD	12,08	17,02	12,66	9,44	299,35	212,79	1337,84	3,50
3	Vidurkis	75,32	52,05	30,95	4,51	360,75	524,42	1520,77	2,21
	SD	10,95	16,36	14,25	5,52	243,16	515,04	781,43	1,80
4	Vidurkis	80,75	45,16	26,64	4,94	375,31	274,73	984,96	3,63
	SD	10,29	16,87	11,83	7,75	278,27	217,41	505,27	2,78
5	Vidurkis	75,22	53,89	30,78	7,92	429,03	536,03	1553,27	2,41
	SD	10,36	15,87	13,99	12,94	316,43	518,28	817,92	1,82
6	Vidurkis	78,83	50,86	32,93	5,13	531,80	556,81	1615,64	2,61
	SD	10,08	18,73	16,40	5,28	366,48	608,51	705,63	1,29
7	Vidurkis	76,14	50,58	28,18	4,82	601,05	359,11	1748,79	3,33
	SD	9,75	17,69	11,99	4,62	562,94	284,74	1413,59	2,92
8	Vidurkis	77,17	48,89	32,24	6,49	487,44	414,31	1415,28	2,13
	SD	9,50	18,90	16,28	8,65	327,66	398,65	875,05	1,11
9	Vidurkis	76,85	44,19	27,87	5,40	449,73	311,23	1453,66	2,81
	SD	9,17	14,03	13,48	5,72	422,66	213,81	1020,35	2,36

2 priedas. HRV parametrų vidurkiai bei SN skirtingų tyrimo periodų metu

Parametras	Individualiai normuotos vertės					SCWT					ADD3				
	Ramybės būseną		Streso būseną		p	Ramybės būseną		Streso būseną		p	Ramybės būseną		Streso būseną		p
	Vid.	SN	Vid.	SN		Vid.	SN	Vid.	SN		Vid.	SN	Vid.	SN	
Š.R.	0,32	0,29	0,64	0,32	0,000	0,30	0,32	0,78	0,29	0,000	0,36	0,36	0,60	0,40	0,063
SDNN	0,41	0,35	0,45	0,32	0,573	0,45	0,40	0,47	0,38	0,751	0,46	0,40	0,51	0,36	0,617
RMSSD	0,43	0,35	0,42	0,34	0,819	0,56	0,39	0,32	0,37	0,025	0,36	0,36	0,60	0,40	0,055
pNN50	0,40	0,36	0,41	0,36	0,955	0,55	0,41	0,35	0,38	0,068	0,38	0,36	0,61	0,40	0,074
TINN	0,54	0,30	0,35	0,33	0,004	0,53	0,35	0,29	0,38	0,009	0,62	0,35	0,34	0,40	0,032
ŽD	0,45	0,34	0,42	0,32	0,878	0,55	0,40	0,40	0,38	0,178	0,43	0,42	0,57	0,34	0,189
AD	0,46	0,38	0,31	0,32	0,047	0,60	0,40	0,15	0,23	0,000	0,45	0,41	0,50	0,38	0,577
Visa energija	0,46	0,34	0,32	0,34	0,040	0,54	0,39	0,34	0,39	0,067	0,56	0,40	0,37	0,38	0,164
ŽD/AD	0,40	0,34	0,52	0,33	0,104	0,34	0,34	0,61	0,38	0,032	0,49	0,41	0,41	0,38	0,523

3 priedas. Gauti elektroderminio aktyvumo parametrai kiekvieno tyrimo etapo metu

Etapas	Vidurkis		Normalizuotas vidurkis		Od per minutę		Om per minutę		Sujaudinimai per minutę		Plotas per minutę	
	Vid.	SN	Vid.	SN	Vid.	SN	Vid.	SN	Vid.	SN	Vid.	SN
1	1,64	1,02	0,03	0,07	13,98	5,78	0,42	0,40	4,04	1,70	1,64	1,02
2	3,27	1,88	0,63	0,22	21,68	9,22	1,76	1,01	6,21	1,03	3,27	1,88
3	2,19	1,26	0,30	0,24	9,79	4,53	0,40	0,25	3,03	1,32	2,19	1,26
4	3,73	1,99	0,83	0,19	18,12	3,07	1,93	1,09	5,87	1,01	3,73	1,99
5	2,69	1,49	0,40	0,20	10,21	3,07	0,62	0,52	3,21	1,17	2,69	1,49
6	3,78	1,90	0,92	0,09	18,98	3,98	2,00	1,18	5,72	1,28	3,78	1,90
7	2,84	1,71	0,48	0,29	9,55	5,25	0,26	0,18	2,63	1,38	2,84	1,71
8	3,89	2,01	0,82	0,21	16,96	4,81	1,84	1,09	5,06	1,67	3,89	2,01
9	3,02	1,43	0,46	0,31	9,87	3,67	0,32	0,34	2,49	1,20	3,02	1,43

4 priedas. EDA parametrų vidurkiai bei SN skirtingų tyrimo periodų metu

Parametras	Individualiai normuotos vertės					SCWT					ADD3				
	Ramybės būseną		Streso būseną		p	Ramybės būseną		Streso būseną		p	Ramybės būseną		Streso būseną		p
	Vid.	SN	Vid.	SN		Vid.	SN	Vid.	SN		Vid.	SN	Vid.	SN	
Vidurkis	0,34	0,20	0,80	0,17	<0,001	0,24	0,15	0,72	0,19	<0,001	0,45	0,24	0,87	0,14	<0,001
Od per minutę	0,22	0,19	0,79	0,21	<0,001	0,28	0,22	0,86	0,16	<0,001	0,16	0,14	0,72	0,26	<0,001
Om per minutę	0,13	0,17	0,83	0,19	<0,001	0,15	0,20	0,78	0,21	<0,001	0,13	0,14	0,88	0,18	<0,001
Sujaudinimai per minutę	0,21	0,17	0,80	0,18	<0,001	0,29	0,22	0,90	0,13	<0,001	0,15	0,11	0,70	0,24	<0,001
Plotas per minutę	0,12	0,21	0,76	0,22	<0,001	0,13	0,22	0,74	0,26	<0,001	0,13	0,22	0,78	0,18	<0,001

5 priedas. Gauti chirurginio streso indekso parametrai kiekvieno tyrimo etapo metu

Etapas	P.I. SSI		P.R. SSI		R.I. SSI		R.R. SSI		R.Ž. SSI	
	Vid	SN	Vid	SN	Vid	SN	Vid	SN	Vid	SN
1	53,70	7,80	53,59	9,50	77,07	10,69	78,59	5,61	54,82	7,11
2	65,40	11,59	62,12	8,20	73,38	6,07	73,49	8,13	67,93	11,86
3	52,66	9,43	53,12	10,56	69,48	9,82	76,17	6,04	61,59	9,06
4	67,96	9,24	63,73	13,67	77,14	7,19	76,27	9,06	69,03	9,78
5	64,30	15,17	65,01	14,38	74,54	9,19	78,56	6,54	60,94	10,15
6	66,76	12,74	64,04	10,86	77,11	9,12	80,18	3,64	69,81	11,15
7	61,42	12,71	60,94	12,30	72,44	14,37	77,88	5,27	66,57	13,51
8	64,48	11,67	63,62	10,57	77,19	10,63	81,33	6,05	65,67	15,12
9	69,83	12,67	67,32	11,48	77,37	11,06	83,43	4,47	64,47	8,55

Etapas	P.I. Amplitudė		P.R. Amplitudė		R.I. Amplitudė		R.R. Amplitudė		R.Ž. Amplitudė	
	Vid	SN	Vid	SN	Vid	SN	Vid	SN	Vid	SN
1	6719	9663	4534	4607	840	514	593	447	697	643
2	4478	4505	4062	2996	18334	27694	13666	21085	3670	7099
3	6853	8872	4558	3975	828	509	591	436	728	647
4	4064	4958	3935	3567	12448	19814	10160	16796	2351	3907
5	4288	7820	3202	3808	759	334	681	400	703	580
6	2291	1554	3271	2859	3925	5071	3981	7004	1609	2053
7	3309	5884	2655	2635	881	401	1116	807	793	673
8	2573	2648	2816	2134	4490	6476	4194	7525	1386	1369
9	1300	870	1393	600	1085	503	870	443	681	457

6 priedas. Fotopletizmogramos parametrų vidurkiai bei SN skirtingų tyrimo periodų metu

Parametras	Individualiai normuotos vertės					SCWT					ADD3				
	Ramybės būseną		Streso būseną		p	Ramybės būseną		Streso būseną		p	Ramybės būseną		Streso būseną		p
	Vid.	SN	Vid.	SN		Vid.	SN	Vid.	SN		Vid.	SN	Vid.	SN	
P.I. SSI	0,34	0,26	0,54	0,34	0,004	0,29	0,30	0,60	0,32	<0,001	0,47	0,34	0,49	0,36	0,817
P.R. SSI	0,34	0,28	0,47	0,35	0,054	0,29	0,31	0,50	0,32	0,007	0,46	0,34	0,45	0,36	0,811
R.I. SSI	0,51	0,35	0,57	0,32	0,309	0,51	0,34	0,56	0,30	0,636	0,50	0,38	0,59	0,34	0,311
R.R. SSI	0,56	0,31	0,49	0,34	0,337	0,49	0,33	0,38	0,37	0,182	0,59	0,35	0,60	0,32	0,945
R.Ž. SSI	0,42	0,33	0,65	0,30	0,001	0,35	0,34	0,68	0,28	0,001	0,48	0,31	0,62	0,33	0,089
P.I. Ampl.	0,45	0,35	0,40	0,34	0,572	0,52	0,38	0,44	0,36	0,443	0,32	0,34	0,35	0,30	0,568
P.R. Ampl.	0,41	0,34	0,43	0,33	0,529	0,48	0,39	0,46	0,33	0,918	0,30	0,31	0,40	0,32	0,176
R.I. Ampl.	0,22	0,34	0,49	0,34	<0,001	0,19	0,31	0,62	0,37	<0,001	0,23	0,33	0,35	0,31	0,027
R.R. Ampl.	0,23	0,32	0,50	0,36	<0,001	0,20	0,31	0,62	0,36	<0,001	0,28	0,35	0,39	0,35	0,115
R.Ž. Ampl.	0,29	0,32	0,46	0,37	0,018	0,35	0,37	0,52	0,37	0,061	0,27	0,34	0,39	0,36	0,162