



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Ultragarsinio ir šiluminio poveikio galūnėms tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Andrius Romualdas Juknevičius

Projekto autorius

Dr. Mantas Venslauskas

Vadovas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Ultragarsinio ir šiluminio poveikio galūnėms tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Biomedicininė inžinerija (6211EX002)

Andrius Romualdas Juknevičius

Projekto autorius

Dr. Mantas Venslauskas

Vadovas

Doc. dr. Andrius Chaziachmetovas

Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Andrius Romualdas Juknevičius

Ultragarsinio ir šiluminio poveikio galūnėms tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Andriaus Romualdo Juknevičiaus, baigiamasis projektas tema „Ultragarsinio ir šiluminio poveikio galūnėms tyrimas“ 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)

Juknevičius, Andrius Romualdas. Ultragarinio ir šiluminio poveikio galūnėms tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Mantas Venslauskas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Ultragarinė terapija, šiluminė terapija, termovizinių nuotraukų apdorojimas.

Kaunas, 2019. 42 p.

Santrauka

Problema. Reumatinių ligų, tokių kaip reumatoidinis artritas ar Reino liga, sąlygojami kraujotakos sutrikimai sukelia skausmus sąnariuose, varžo judėjimą bei fizinių aktyvumą. Visame pasaulyje reumatoidinio artrito paplitimas sudaro 0,4–1,2 % populiacijos. Šiuo metu rinkoje trūksta išskirtinai šiai problemai spręsti pritaiktų įrenginių, naudojamos bendrosios priemonės ir metodai. Ultragarinė terapija ir šiluminė terapija yra taikomos sergantiesiems, tačiau nėra pritaikytos efektyviai gydyti būtent plaštaką ir riešą. Darbe pristatomas tyrimas, nustatyti keturių daviklių „bėgančios bangos“ ultragarinės ir šiluminės terapijos prietaiso efektyvumą ir palyginti su rinkoje esančiu vieno daviklio prietaisu.

Metodas. Ultragarinė ir šiluminė terapija su keturių daviklių prietaisu atliekama 15 minučių taikant ją reumatoidiniu artritu ir sisteminė skleroderma sergantiems pacientams bei kontrolinei grupei. Vieno daviklio komercinis ultragarinės ir šiluminės terapijos įrenginys tiriamas su sveikais žmonėmis. Taip pat užregistruota *placebo* grupė. Grupėse registruojami riešo lankstumai, penkiolika plaštakos temperatūros taškų iš termovizinių nuotraukų bei skausmo įvertinimas (grupėje su pacientais).

Rezultatai. Sukurtas termovizinių nuotraukų apdorojimo algoritmas greitai ir tiksliai nustato plaštakoje dominančius taškus. Grupėje su pacientais, kurioje buvo tirtas keturių daviklių įrenginys užfiksuotas vidutinis 10,57 % riešo lankstumo pagerėjimas, vidutinis +1,2 °C temperatūrinis padidėjimas terapijos metu. Kontrolinėje grupėje užfiksuotas vidutinis 10,17 % riešo lankstumo pagerėjimas, vidutinis +1,96 °C temperatūrinis padidėjimas terapijos metu. Vieno daviklio grupėje užfiksuotas vidutinis 5,87 % riešo lankstumo pagerėjimas, vidutinis +1,46 °C temperatūrinis padidėjimas terapijos metu. *Placebo* grupėje pokyčių nepastebėta. Kapiliaroskopijos metodu užfiksuotas kraujotakos padidėjimas terapijos metu.

Išvados. Tyrimas atliktas su keturių daviklių „bėgančios bangos“ ultragarinės ir šiluminės terapijos įrenginiu parodė didesnę efektingumą nei vieno daviklio universalus ultragarinės ir šiluminės terapijos įrenginys.

Juknevičius, Andrius Romualdas. Analysis of an ultrasound and heat impact on limbs. Master's Final Degree Project / supervisor dr. Mantas Venslauskas; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Ultrasound therapy, heat therapy, thermovision images processing.

Kaunas, 2019. 42 p.

Summary

Problem. Blood circulation disorders caused by rheumatic diseases such as rheumatoid arthritis or Raynaud's syndrome causes pain in joints, reduces joint movement and physical activeness. 0,4–1,2 % of population suffer from rheumatoid arthritis. Currently the market is lacking an equipment that is specially designed for these diseases, only universal equipment and methods are used. Ultrasound and heat therapy is commonly used with the patients however, there are no equipment designed especially for hand and wrist. This paper presents the study to determine four transducers „running wave“ ultrasound and heat therapy effectiveness and comparison with one transducer device that is already in the market.

Methods. Ultrasound and heat therapy with four transducers are used for fifteen minutes with rheumatoid arthritis and systemic scleroderma patients and control group. Ultrasound and heat therapy device with one transducer is used only on healthy people. In addition, *placebo* group was measured. Wrist flexibilities, fifteen hand temperature points from thermovision images and pain severity (in group with patients) were recorded.

Results. Created thermovision image processing algorithm were able to quickly and accurately mark points of interest in hand. In group with patients, where four transducer device was used, averaged wrist flexibility difference was 10,57 % and +1,2 °C temperature rise during the therapy. In control group averaged wrist flexibility difference was 10,17 % and +1,96 °C temperature rise during the therapy. In group, where one transducer device was used, averaged wrist flexibility difference was 5,87 % and +1,46 °C temperature rise during the therapy. There was no effect of the therapy in *placebo* group. Capillaroscopy showed increase in blood circulation during the therapy.

Conclusion. Four transducer „running wave“ ultrasound and heat therapy device showed greater results than one transducer ultrasound and heat therapy device.

Turinys

Įvadas	7
1. Literatūros analizė	9
1.1. Autoimuninės ligos.....	9
1.1.1. Skleroderma.....	9
1.1.2. Reumatoidinis artritas.....	10
1.2. Mechaninis ultragarso poveikis.....	13
1.2.1. Akustinis srautas.....	13
1.2.2. Ultragarso įtaka audinių atsistatymui.....	13
1.2.3. Šiluminis ultragarso poveikis.....	15
1.3. Šiluminis poveikis audiniams.....	16
1.4. Terapijos ir efektyvumo vertinimo parametrai.....	17
1.5. Rinkos analizė.....	19
1.6. Literatūros analizės išvados.....	21
2. Metodai ir realizacija	22
2.1. Naudota įranga.....	22
2.2. Termovizinių nuotraukų apdorojimas.....	22
2.3. Tiriamos grupės.....	24
2.4. Duomenų surinkimo eiga.....	25
3. Rezultatai	27
3.1. Kraujo apykaitos pokyčiai terapijos metu.....	27
3.2. Keturių daviklių grupės rezultatai.....	27
3.3. Kontrolinės grupės rezultatai.....	29
3.4. <i>Placebo</i> grupės rezultatai.....	31
3.5. Vieno daviklio grupės rezultatai.....	33
3.6. Palyginamieji rezultatai.....	34
4. Diskusija	37
Išvados	40
Literatūros sąrašas	41
Priedai	43
1 priedas. Bioetikos leidimas.....	43
2 priedas. Mokslinės publikacijos darbo tema.....	44
3 priedas. Konferencijos diplomas.....	45
4 priedas. Patento išdavimo prašymas.....	46

Ivadas

Reumatinių ligų, tokių kaip reumatoidinis artritas ar Reino liga, sąlygojami kraujotakos sutrikimai sukelia skausmus sąnariuose, varžo judėjimą bei fizinį aktyvumą. Šiomis ligomis sergantiems, ypač ankstyvoje ligos stadijoje, per pirmuosius kelis ligos vystymosi metus, labiausiai paveikiami rankų sąnariai, kas ypač apsunkina kasdienių įprastų veiksmų atlikimą buityje, darbe ar kitoje veikloje. Visame pasaulyje reumatoidinio artrito paplitimas sudaro 0,4–1,2 % populiacijos. Europoje sergančių yra daugiau kaip 7 milijonai, išskiriant Rusiją, kurioje šia liga serga apie 1,5 milijonus žmonių, o Jungtinėse Amerikos Valstijose – apie 2,5 milijono gyventojų [1]. Kitos reumatinės ligos, osteoartrito paplitimas pasaulyje yra keliasdešimt kartų didesnis. Vien tik JAV yra užfiksuota apie 31 milijonai sergančiųjų, o senstant visuomenei prognozuojama, kad 2050 metais pasaulyje bus apie 130 milijonų sergančiųjų šia liga. Statistiškai 1 iš 6 atvejų, kuriam diagnozuota ši liga, jaučia skausmus rankoje arba rieše. Dažniausiai tai būna ankstyva ligos stadija. Sergančiųjų sisteminė skleroderma paplitimas pasaulyje yra apie 2.5 milijonai [2]. Ši liga pažeidžia plaštakos sąnarius, sumažindama sąnarių lankstumą bei sukeldama skausmą.

Minėtoms problemoms spręsti siūloma naudoti MB „Fidens“ įmonėje sukurtą ultragarsinės terapijos principu veikiančią apyrankę, kurią būtų galima nešioti visą dieną bei aktyvuoti, atsiradus pirmiesiems ligos paūmėjimo simptomams. Ultragarso sukeltos mikrovibracijos bei šiluma pagerina kraujotakos cirkuliaciją giliuosiuose audiniuose, kas lemia didesnę ir greitesnę maitinamųjų medžiagų tiekimą sąnariams, kartu sumažinamas skausmas juose. Siūlomas sprendimas padėtų sumažinti reumatoidinio artrito sukeltus padarinius ankstyvoje ligos stadijoje, taip pagerintų sergančiųjų šia liga gyvenimo kokybę.

Šiuo metu rinkoje trūksta išskirtinai šiai problemai spręsti pritaikytų įrenginių, naudojamos bendrosios priemonės ir metodai. Siūlomos apyrankės išskirtinumas: visą riešo plotą veikiantys keturi ultragarsiniai davikliai, kurie įjungiami pakaitomis. Taip pat šiluminis ir ultragarsinis poveikis veikia riešą iš viršaus ir apačios, todėl paskirstyta šiluma veikia didesnę plotą, taip aktyvinama kraujotakos sistema.

Problema. Šiuo metu ultragarsinė terapija nėra koncentruota tik į kelias ligas, todėl įranga daroma universali. Ši įranga naudoja vieną ultragarsinį daviklį, kuris yra pozicionuojamas ant norimos paveikti vietos. Šie ultragarsiniai davikliai yra nepatogūs naudoti, esant poreikiui gydyti riešą ir plaštaką. Jų poveikis nėra pilnai paskirstomas po visą plotą bei nėra nustatyti taškai, kurie perduotų audiniams maksimalų ultragarso poveikį.

Hipotezė. Panaudojus kelis ultragarsinio ir šiluminio poveikio daviklius, išdėsčius juos per visą riešo plotą bei įjungiant pakaitomis (sukuriant „bėgančią bangą“) būtų išgaunamas efektyvesnis gydymas nei naudojant vieno daviklio ultragarsinę terapiją.

Tikslas. Šiuo tyrimu yra iškeltas tikslas – ištirti „bėgančios bangos“ ultragarsinės ir šiluminio poveikio kombinaciją su sklerodermiją bei reumatoidinį artritą turinčiais pacientais ir kontroline grupe.

Uždaviniai:

1. nustatyti tyrimui reikšmingus parametrus ir sudaryti tyrimo eigą;
2. sukurti termovizinių nuotraukų apdorojimo algoritmą ir palyginti su esama programine įranga termovizinėms nuotraukoms apdoroti;
3. palyginti keturių daviklių „bėgančios bangos“ ultragarsinės ir šiluminės terapijos poveikį su vieno daviklio ultragarsiniu ir šiluminiu poveikiu.

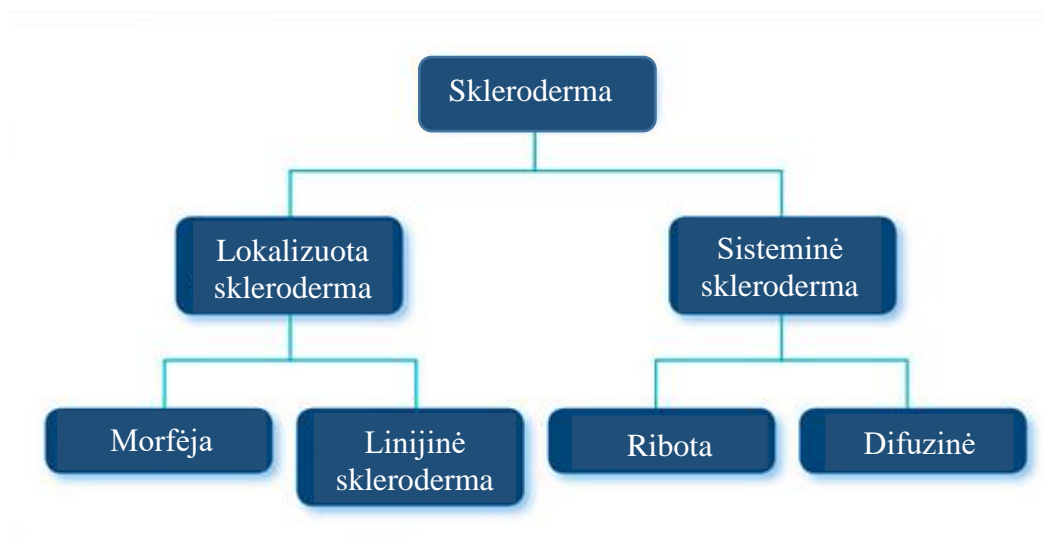
1. Literatūros analizė

1.1. Autoimuninės ligos

1.1.1. Skleroderma

Skleroderma yra chroninė jungiančiųjų audinių liga, priskiriama autoimuninėms reumatinėms ligoms. Ši liga nėra užkrečiama, infekcinė, vėžinė ar piktybinė. Sklerodermos simptomai kiekvienam žmogui varijuoja, o ligos sunkumas gali būti nuo vos paveiktų audinių iki gyvybei pavojingų atvejų. Ligos būklės rimtumas priklauso nuo paveiktų audinių tipo bei sklerodermos paplitimo. Atsiradus pirmiems ligos požymiams ir nepradėjus gydymo, liga gali stipriai išplisti iki kritinio lygio, todėl yra būtina kreiptis į gydytojus, norint ligai užkirsti kelia progresuoti ir padaryti neatstatomos žalos. Šią ligą gali nustatyti reumatologai bei dermatologai, taip pat jai patvirtinti tiriamas kraujas. Šios ligos atsiradimo priežastys nėra žinomos, o vienas iš požymių yra per didelė kolageno gamyba organizme.

Skleroderma yra skirstoma į dvi pagrindines grupes: lokalizuota skleroderma ir sisteminė skleroderma. Lokalizuota skleroderma gali būti morfėja (angl. *morphea*) ir linijinė skleroderma, o sisteminė skleroderma yra skirta į ribotą ir difuzinę (1.1 pav.).



1.1 pav. Sklerodermos formų skirstymas [3]

Lokaluotos sklerodermos atveju, pakitimai yra randami tik keliose vietose ant odos ar raumenų ir retai būna paplitę po kūną. Ši sklerodermos forma dažniausiai yra labai nestipri ir labai retu atveju išsivysto į sisteminę sklerodermiją. Vidiniai organai nebūna paveikti ligos.

Morfėja yra lokalsios sklerodermijos forma, apibūdinama skirtingų dydžių ir formų vaškuotomis dėmėmis ant odos. Oda po šiais pažeidimais dažniausiai būna plonesnė. Šios dėmės gali keisti savo

formą ir taip pat staigiai išnykti. Ši ligos forma dažniausiai pasireiškia 20–50 amžiaus žmonėms, tačiau yra neretai nustatoma ir mažiems vaikams.

Linijinė sklerodermos pradžia dažniausiai būna sukietėjusios, pavaškavusios odos linijos atsiradimu ant rankos, kojos ar kaktos. Ši linija gali prasidėti kaktoje ir tęstis iki kaklo apačios. Šio tipo skleroderma paveikia ir gilesnius audinius, tai pat sutrikdo sąnarių judėjimą, kurie kertasi su linija. Linijinė skleroderma dažniausiai pasireiškia vaikystėje, kuomet kūnas labiausiai auga.

Sisteminės sklerodermijos metu yra pažeidžiama daug jungiančiųjų audinių skirtingose kūno vietose. Ši forma gali pažeisti odą, stemplę, virškinimo trakta (skrandžio ir žarnyno), plaučius, inkstus, širdį ir kitus vidaus organus. Taip pat kraujagysles, raumenis ir sąnarius. Pažeisti audiniai sukietėja ir tampa mažiau funkcionalūs.

Difuzinės sklerodermos metu, odos suplonėjimas greitai plinta ir sudaro daugiau vietų nei ribotos sklerodermos metu. Difuzinės sklerodermos metu yra didelė tikimybė vidinių organų sukietėjimui. Apie 50 procentų ligonių turi lėtą ir lengvesnės formos ribotą sklerodermą. Odos suplonėjimas būna mažiau išplitęs, dažniausiai atsirandantis pirštuose, rankose ir ant veido. Tačiau žmonės su ribota ar difuzine skleroderma gali susirgti hipertenzija, kuomet kraujagyslės šalia plaučių tampa siauros ir neaprupina kūno pakankamai deguonies [3].

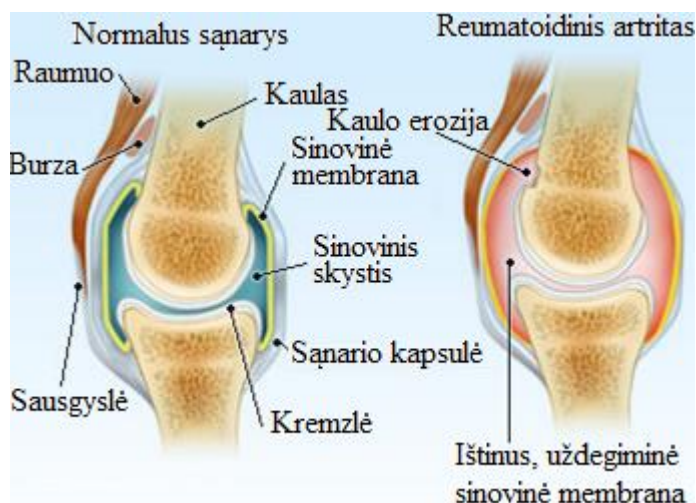
Ultragarso poveikis sisteminei sklerodermai buvo analizuojamas C. Uhlemanno ir kitų atliktame tyrime. Pacientų plaštakos buvo veikiamos ultragarsine terapija šešias dienas, tris kartus per dieną po šešias minutes. Skausmo sumažėjimas buvo pastebėtas 18 iš 24 pacientų. Taip pat plaštakos suspaudimo jėgos teigiamas pokytis buvo statistiškai reikšmingas [4].

Šiluminis poveikis sisteminei sklerodermai buvo analizuojamas G. Sandqvisto ir kitų atliktame tyrime. Septyniolikai pacientų kiekvieną dieną vienai rankai buvo taikomos rankų mankštos, o kitai rankai buvo naudojamos šildomos parafino vonelės prieš taikant rankų mankštas. Tyrimas buvo tęsiamas vieną mėnesį. Atlikus tyrimą, buvo pastebėtas odos elastingumo ir plaštakos funkcionalumo padidėjimas rankoje, kuriai buvo naudojamos pafarino vonelės [5].

1.1.2. Reumatoidinis artritas

Reumatoidinis artritas yra autoimuninė liga, kuri sukelia chronišką uždegimą sąnariuose. Ligos yra priskiriamos autoimuninių kategorijai, kuomet audiniai yra neteisingai naikinami imuninės sistemos. Ligoniai savo kraujyje turi padidėjusį kiekį imuninių ląstelių, kurios sukelia uždegimą. Reumatoidiniui artritui yra priskiriamas sąnarių uždegimas, kuris gali pereiti ir pažeisti šalia esančius audinius bei organus (1.2 pav.). Taip pat yra priskiriamas sąnarių sąstingis, ypač rytais. Reumatoidinis

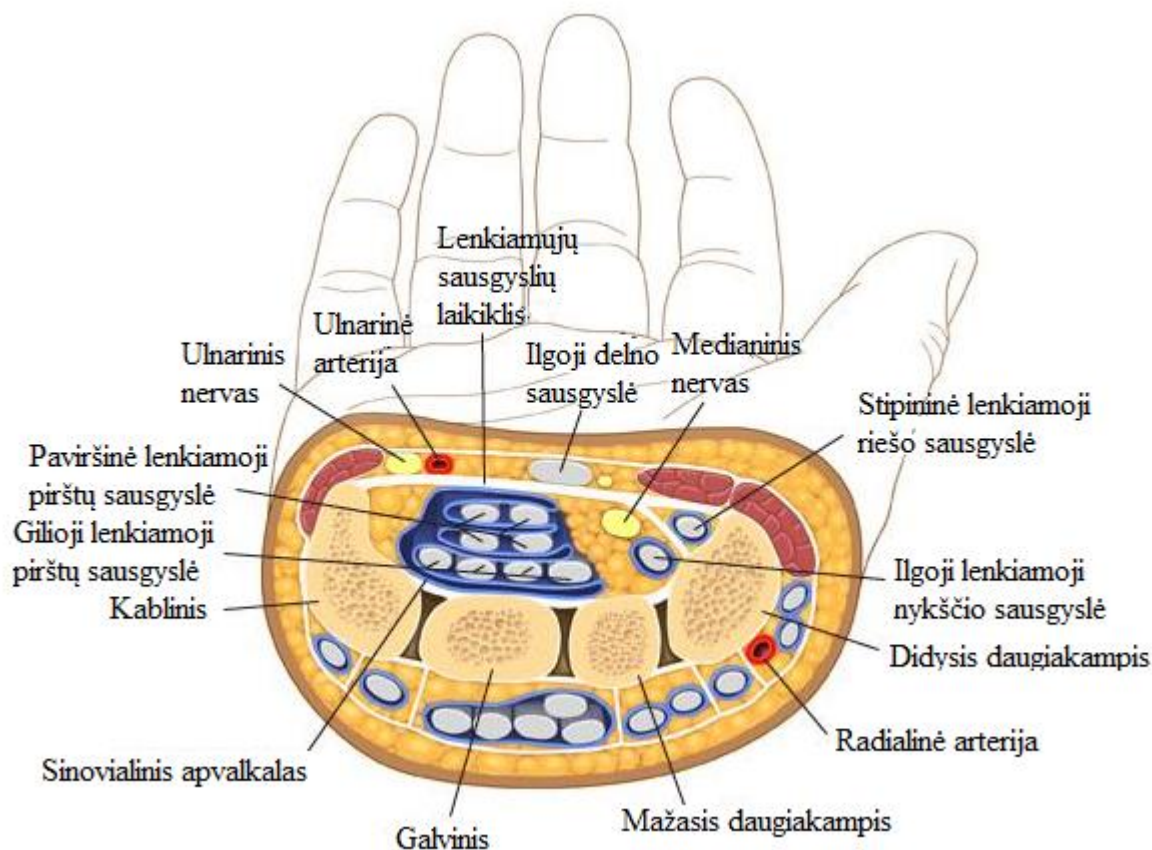
artritas gali būti pažeidęs kelis audinius, todėl yra priskiriamas prie sisteminių ligų. Sąnarys paveiktas šios ligos yra deformuojamas, atsipalaidavus sąnario raiščiams, taip pat sunykus kremzlėms. Reumatoidinio artrito atsiradimo priežastys nėra žinomos.



1.2 pav. Sąnarys paveiktas reumatoidiniu artritu [6]

Reumatoidinio artrito pradžioje mažieji sąnariai, kaip kojų ar rankų pirštai, yra paveikiami ligos. Jaučiama šiluma einanti iš sąnario, patinimas bei sąstingis. Šie simptomai nuolatos pranyksta, gali periodiškai pasirodyti kelioms dienoms. Riešas yra vienas iš dažniausiai paveikiamų vietų ligos pradžioje. Pajutus pirmus simptomus, kaip skausmas, ištinimas bei sąstingis, galima įtarti reumatoidinio artrito pradžia ir būtina pradėti gydymą.

Riešas yra sudarytas iš kaulų, raumenų, sausgyslių ir kitų struktūrų išsidėsčiusių aplink riešo sąnarį (1.3 pav.). Tolimesniame riešo skerspjūvyje yra aptinkami 4 kaulai: kablinis kaulas (angl. *hamate*), galvinis kaulas (angl. *capitate*), mažasis daugiakampis (angl. *trapezoid*), didysis daugiakampis (angl. *trapezium*). Prie delno šie kaulai suformuoja įgaubtą ertmę. Ši ertmė yra vadinama riešo tuneliu, o joje randasi pirštų lankstymosi sausgyslės ir vidurinis nervas. Radialinė ir ulnarinė arterijos yra pagrindinės arterijos kurios aprūpina plaštaką krauju [7].



1.3 pav. Riešo skerspjūvis [8]

Laikui bėgant reumatoidinis artritas išsiplečia į didesnius sąnarius, kaip klubai ar pečiai ir per kelis metus gali pažeisti sąnarius. 60 % sergančiųjų, kurie nesigydo reumatoidinio artrito, po 10 metų nebegalėjo dirbti [9]. Sergantieji turi 60 % didesnę tikimybę gauti širdies smūgį, dėl galimo ligos išsiplėtimo į širdies audinius.

Reumatoidiniam artritui gydyti ultragarsinės terapijos yra taikytinos ir jų teigiamas poveikis yra užfiksuotas. Lynn Casimiro ir kitų darytame tyrime [10] buvo naudojamas ultragarsas, kuris padidino plaštakos suspaudimo jėgą. Taip pat buvo pastebėtas riešo fleksijos pagerėjimas, rytinio plaštakos sąstingio sumažėjimas, ištintusių sąnarių kiekio sumažėjimas ir skausmingų sąnarių kiekio sumažėjimas. Šiame tyrime buvo palygintas a) plaštakos mankštos poveikis su vaško vonelėmis b) plaštakos mankštos poveikis su ultragarsinės terapijos poveikiu c) plaštakos mankštos poveikis, ultragarsinės terapijos poveikis ir nuolatinės žemos įtampos impulsinės (faradinės) elektros srovės vonelė. Nei vienas palyginimas neparodė statistiškai reikšmingo pokyčio jėgos, lankstumo ir skausmo vertinimuose.

Šiluminės terapijos teigiamas poveikis taip pat yra tirtas. A. Buljinos ir kitų atliktame tyrime buvo taikoma kombinuota terapija, kurią sudarė terminės vonios, šiluma, faradinės srovės vonelės ir

mankštos terapija [11]. Tyrimo trukmė buvo trys savaitės. Šiuo tyrimu buvo fiksuotas plaštakos suspaudimo jėgos padidėjimas, riešo lankstumo padidėjimas ir sąnarių suminkštėjimas. Sąnarių dydžio pokytis nebuvo statistiškai reikšmingas. Autorių teigimu didžiausias poveikis yra pasiekiamas taikant kombinuotą terapiją kiekvienam pacientui individualiai. Šiame tyrime nebuvo vertinamas atskirų, kombinuotos terapijos, sudedamų dalių poveikis.

1.2. Mechaninis ultragarso poveikis

1.2.1. Akustinis srautas

Akustinis srautas (angl. *acoustic streaming*) yra apibūdinamas kaip fizinių garso bangų jėgų atsiradimas kurios priverčia judėti jonus ar mažas molekules. Molekuliniame lygmenyje egzistuoja ląstelių organelių ir molekulių svoriai. Dauguma šių struktūrų yra stacionarios, tačiau nemažai yra laisvai plaukiojančių ir jas galima judinti aplink stacionarios struktūras. Šis mechaninis spaudimas, kurį sukuria garso bangos, priverčia judėti skysčius viena kryptimi ląstelės membranose [12]. Akustinis srautas priverčia mažus skysčio sūkurius atsirasti ties vibruojančiomis struktūromis, kaip ląstelės membranos ar stabilios kavitacijos dujų burbuliuko paviršius. Šitas reiškinys įtakoja difuzijos greitį ir membranos pralaidumą. Ląstelės membranos potencialas pakinta dėl pakitusio natrio jonų laidumo. Dėl kalcio jonų laidumo pakitimų, ląstelės fermentų veikla taip pat kinta, ypač baltymų sintezė. Stabilios kavitacijos ir akustinio srauto efektai sužadina ląstelės membraną, todėl padidėja ląstelės aktyvumas. Ultragarso sužadina ląstelės aktyvumą, o aktyvesnės ląstelės veikla ir yra norimas terapinis poveikis.

1.2.2. Ultragarso įtaka audinių atsistatymui

Pažeisto audinio atsistatymą galima išskaidyti į keturias dalis: kraujavimas, uždegimas, proliferacija ir atsistatymas.

Kraujavimas yra pirminis pažeistos vietos požymis kuris gali trukti nuo kelių sekundžių iki kelių valandų. Šioje stadijoje ultragarsinė terapija nėra taikoma, tačiau ultragarso paskatintų krešėjimo procesą. Ultragarso padidina kalcio jonų koncentraciją fibroblastuose, todėl gaunamas mechaninis poveikis jonų kanalams. Akustinis mikromasažas paskatina ląsteles išskirti kalcio jonus iš ląstelės vidaus. Mikromasažas yra mechaninis efektas, kurį sukelia garso bangų sklaidimas per audinį, kuris priverčia molekules vibruoti, paskatindama audinių skysčių apykaitą bei judėjimą [13].

Prasidėjus audinių uždegimui, ultragarso stimuliuoja kamienines ląsteles, trombocitus, fagocitus - baltuosius kraujo kūnelius ir makrofagus. Pavyzdžiui, ultragarso sužadina kamieninių ląstelių skaidymą, kurios išleidžia Arachidono rūgštį. Ši rūgštis yra prostaglandino ir leukotrieno, kurie yra

uždegiminiai mediatoriai, sintezės pradininkė. Paskatinant šių ląstelių veiklą, uždegimas yra tik padidinamas. Uždegiminis atsakas į ultragarsą yra būtinas norint pasiekti efektyvų audinių atsistatymą. Kuo efektyviau uždegiminė stadiją tęsis, tuo greičiau audinys galės pereiti į kitą, proliferacinį, etapą. Klinikiniai tyrimai parodė, jog ultragarsas nėra efektyvus uždegimo mažinimui [14]. Ultragarsas yra efektyvus paskatinant uždegiminio gijimo eigą, todėl čia galima įžvelgti šios terapijos naudą. Audiniams, kuriuose vyksta uždegimas, tačiau nėra atsistatymo fazės, ultragarsas spartina visą procesą, todėl įžvelgiama trumpesnė uždegimo trukmė.

Prasidėjus proliferacinei stadijai, ultragarsas taip pat turi stimuliuojantį poveikį. Šioje stadijoje yra aktyvinami fibroblastai, endotelio ląstelės ir myofibroblastai. Šios ląstelės yra aktyvios susidarant randams, o ultragarsas jas skatina būti veiklesnėms. Ultragarsas šioje stadijoje taip pat suaktyvina natūralų procesą nekeičiant jo eigos. Vienas iš atliktų tyrimų [15] įrodė, jog šioje stadijoje sumuštą raumenį paveikus ultragarsu, sumažėjo mechano augimo faktoriaus rodiklis (angl. *mechano-growth factor*), kuris rodo pažeisto raumens atsistatymo intensyvumą (sveikame raumenyje atsistatymas nevyksta).

Remodeliavimo (atsistatymo) fazėje, atsiradęs pradinis randas bando prisitaikyti prie sužeistos vietos ir adaptuoti jos funkcines charakteristikas. Raiščių traumos atveju, randas netaps nauju raiščiu, tačiau naujai susiformavęs audinys turės artimas raiščiams savybes. Šie rezultatai pasiekiami dėl daugybės vykstančių procesų, tačiau daugiausia dėl kolageno skaidulų krypties formavimo atsirandančiam rande ir kolageno tipo pasikeitimo, iš trečio tipo į labiausiai dominuojantį pirmąjį tipą. Ši fazė gali tęstis ir daugiau nei metus, tačiau ji yra būtina kokybiškam audinio atsistatymui. Ultragarsas šio proceso metu padidina rando tamprumą bei mobilumą.

Matheus, J. P. C. ir kiti darė tyrimą dėl ultragarsinio poveikio skeleto raumenų mechaninėms savybėms. 40 žiurkių buvo suskirstytos į keturias grupes: a) kontrolinė, b) raumens sužeidimas be papildomo gydymo, c) raumens sužeidimas su 1 MHz ultragarsiniu gydymu, d) raumens sužeidimas su 3 MHz ultragarsiniu gydymu. Gydymas susidarė iš vienos 5 minučių terapijos per dieną, šešias dienas. Ultragarso stiprumas terapijos metu nustatytas $0.5\text{W}/\text{cm}^2$. Raumenų sužeidimai buvo atlikti panaudojant 200g svarelį, kuris paleidžiamas iš 30 cm aukščio į dvilypį raumenį (*lot. musculus gastrocnemius*). Po terapijos procedūrų žiurkės buvo užmigdomos ir pašalinamas dvilypis raumuo. Toliau raumuo testuojamas ir registruojami trys parametrai: a) maksimalus įsitempimo ilgis b) maksimali raumens apkrova c) standumas. Šio tyrimo rezultatai patvirtino raumens mechaninių savybių pagerėjimą po ultragarsinės terapijos. Negydyto raumens parametrai buvo a) -24 %, b) -44 %, c) -45 % prastesni nei kontrolinės grupės, kai 1 MHz gydyto raumens parametrai buvo a) -11 %, b) -11 %, c) -11 %.

b) -9 %, c) -12 %. 3 MHz gydymo rezultatai buvo panašūs į 1 MHz gydymo rezultatus. Šis tyrimas parodė, jog ultragarsas padeda traumuojam raumeniui greičiau atgauti savo mechanines savybes. [16]

Ultragarsas taip pat pasižymi ląstelių regeneracijos paskatinimu. Pasikartojantis ultragarso poveikis sumažino leukocitų kiekį beždžionės gimdoje [17].

1.2.3. Šiluminis ultragarso poveikis

Šiluminio efekto išgavimas efektyviausiai pasiekiamas tankiose kolageniniuose audiniuose panaudojus palyginus didelį intensyvumą bei nuolatos skleidžiant ultragarsines bangas. Per pirmą ultragarso veikimo minutę audinių temperatūra pakyla 70 %, tačiau ilgai neišsila. Temperatūros pakilimas yra tiesiogiai proporcingas ultragarso stiprumui. Ultragarso sugėrimas priklauso nuo audinyje esančių baltymų kiekio, todėl žinant baltymų koncentraciją, galima nuspėti temperatūros pokytį. Ultragarso sugėrimo koeficientas gali kisti nuo 1 (oda, sausgyslės) dB/cm MHz minkštiesiems audiniams iki 10 (kaulas) dB/cm MHz kietiesiems audiniams. Didesnis temperatūros kilimas atsiranda audiniuose su didesniu absorbcijos koeficientu, tačiau jei ultragarsu veiktume kaulą, šiluma persiduotu ir į šalia esančius audinius. Praplatinus ultragarso veikimo spindulį, energija pasiskirstytu po didesnę plotą, todėl bendras temperatūros pakilimas sumažėtų. Ultragarso sukeltas šilimas gali sustabdyti skysčių apytaką, todėl šis poveikis gali būti nepageidaujamas ir pakenkti tokiems audiniams kaip lęšiukas ar ragena [18].

Ultragarso dažnis, veikimo laikas, intensyvumas ir sugėrimo koeficientas yra pagrindiniai parametrai, į kuriuos atsižvelgus galima nustatyti šilimo dydį. Visi parametrai surašyti 1 lentelėje.

1 lentelė. Audinio temperatūrinį pokytį lemiantys faktoriai

Ultragarso parametrai	Audinio charakteristikos
Dažnis	Sklidimo koeficientas
Fokusavimas	Absorbcijos koeficientas
Ultragarso pulsavimo dažnis	Akustinis impedansas
Pulso trukmė	Šiluminis laidumas
Keitiklio kaitimas	Ląstelės skysčių apykaita
Poveikio laikas	Netiesinis sklidimas
Intensyvumas	Tankis
Spindulio plotis	Baltymų kiekis

Temperatūros pakilimas įvyksta jeigu ultragarso sukeltos šilumos kiekis persveria šiluminį išsklaidymą dėl skysčių apykaitos. Jei laikome, jog šiluma nėra išsklaidoma, tai maksimalus temperatūros pakilimas yra tiesiogiai susijęs su šilumos kiekio pagaminimui tūrio vienetui ir veikimo laikui. Šilumos kiekis aprašomas $2\alpha I$, kur α – absorbcijos koeficientas, I – ultragarso intensyvumas.

Jei neįvyksta ultragarso išsklaidymas, absorbcijos koeficientas yra lygus išskaidymo koeficientui. Temperatūrinis pakilimas gali būti nepakankamai įvertintas jeigu ultragarso spindulys sklis per skysčio terpę. Tokiu atveju ultragarsas sklinda nevienodai ir nėra tinkamai sufokusuotas, tačiau žemo intensyvumo juostoje, šie nuostoliai yra minimalūs. Ultragarso nelinejinis sklidimas stipriai skiriasi tarp biologinių audinių ir vandens. Linijinis sklidimas dominuoja aukštą sugėrimo koeficientą turinčiuose audiniuose, tokiuose kaip kaulas. Prie didelių ultragarso amplitudžių atsiranda harmoniniai dažniai, todėl nelinejinis sklidimas tampa aktualus. Nelinejinis sklidimas yra ypač svarbus kai ultragarsu yra tikimasi pasiekti gilesnius audinius, naudojamas tolimesnis židinio taškas. Ultragarso intensyvumas ir slėgis dažniausiai yra matuojamas vandenyje ir perskaičiuojamas audiniams, pagal jų sugerties koeficientą.

Siekiant apsaugoti pacientus nuo šiluminio poveikio neigiamų padarinių, ultragarsinio poveikio laikas yra svarbiausias aspektas. Homogeninėje medžiagoje, kurioje vyksta sąlyginai maža skysčių apykaita, pavyzdžiui kaule, staigų temperatūrinį pokytį T_{Δ} galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$T_{\Delta} = \frac{W}{4} \cdot d_6, \quad (1)$$

kur W – akustinė galia (mW) ir d_6 – spindulio diametras (mm). Priklausomai nuo intensyvumo, praeina tam tikras laiko tarpas, kol temperatūra audiniuose pradeda staigiai kilti. Šis vėlinimo laikas gali būti naudingas, norint naudoti didelio intensyvumo ultragarsą, nepakenkiant audiniams. Mokliškai yra nustatyti ultragarso parametrai, į kuriuos atsižvelgiant ultragarsas nepadarys žalos audiniams [19].

Šiluminis indeksas yra aprašytas sistemos galios ir galios, pakeliančios medžiagos temperatūra vienu laipsniu, santykiu. Ultragarsiniam spinduliui yra naudojami trys skirtingi terminiai indeksai, priklausantys nuo ultragarso keliamos terpės: a) minkštųjų audinių TIs , b) kaulo TIb , c) kaukolės TIc . Šie teoriniai indeksai gan tiksliai atspindi realų ultragarso šiluminį poveikį [20]. Šiluminiai indeksai skaičiuojami homogeninėms aplinkoms kurios turi pastovius sugerties koeficientus. Apskaičiavus šį indeksą galima numatyti terapijos intensyvumą ir trukmę, taip pat papildomai yra naudojami termometrai, kurie atjungia ultragarsą peržengus tam tikrą šilumos slenkstį. Čia didžiausias minusas yra, jog negalima pamatuoti vidinių audinių temperatūros neinvaziniu metodu.

1.3. Šiluminis poveikis audiniams

Šiluminė terapija tai gydymo metodas, kuomet šiluma yra panaudojama skausmo mažinimui bei gijimo procesams spartinti. Efektyviausia šiluminė terapija yra tuomet kai temperatūra yra laikoma pastovi ir nėra jaučiamas diskomfortas dėl per daug didelės šilumos. Šiluminė terapija skirstoma į dvi

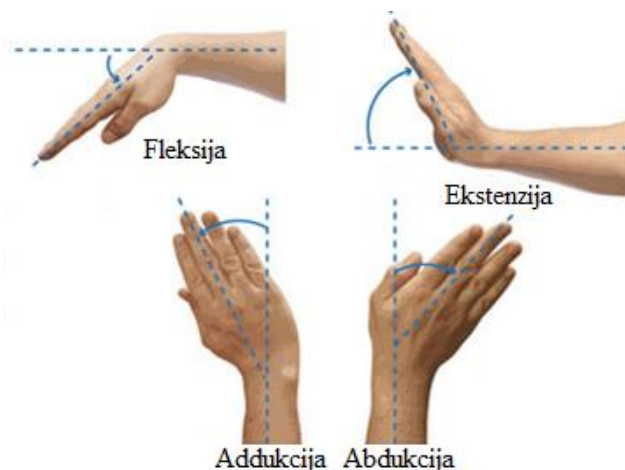
rūšis: sausą ir drėgną. Sausa šiluma yra tokia šiluma kuri yra išgaunama elektriniais šildytuvais, saunoje ar panaudojant infraraudonųjų spindulių lempas. Drėgna šiluma yra išgaunama karštose voniose ar garų saunose.

Odos šildymas sumažina skausmo pojūčius. Šiluma stimuliuoja šilumos receptorių, kurie blokuoja skausmo transmiterių veiklą, taip neleidžiant nukeliauti skausmo signalams iki smegenų. Šiluma skatina kraujo apykaitą pažeistoje ar skaudančioje vietoje, tai reiškia, kad daugiau deguonies ir kitų reikalingų medžiagų patenka į pažeistą vietą, taip pat pašalinamos žuvusios ląstelės. Šiluma padidina minkštųjų audinių elastingumą ir atpalaiduoja raumenis, todėl yra padidinamas lankstumas ir sumažinamas sąstingis. 1° C temperatūros pakilimas audiniuose padidina 10-15 % medžiagų apykaitą. Šis metabolizmo padidėjimas paskatina gijimo procesą dėl suaktyvėjusių katabolinių ir anabolinių reakcijų, kurios padeda sunaikinti ir pašalinti pažeistų audinių šalutinius produktus [21].

Michlovitz, Susan ir kitų atlikto tyrimo metu, šiluminės terapijos metu (38 °C, 40 °C ir 42 °C) trapecijos raumens kraujotaka atitinkamai padidėjo 27 %, 77 % ir 144 % [22]. Šiluminės terapijos teigiamas poveikis taip pat buvo nustatytas šildant riešus, kurie buvo patempti ar paveikti osteoartritu. Tyrimo metu, pacientai 8 valandas per dieną, tris dienas iš eilės šildė riešą ir rezultatai buvo palyginti su kontroline grupe. Skausmo sumažėjimas jautėsi kiekvieną dieną ir išliko kelias dienas po terapijos. Taip pat buvo matuota plaštakos sugriebimo jėga, kuri padidėjo po šiluminės terapijos. Panašūs rezultatai buvo nustatyti pacientams su riešo tunelio sindromu [23].

1.4. Terapijos ir efektyvumo vertinimo parametrai

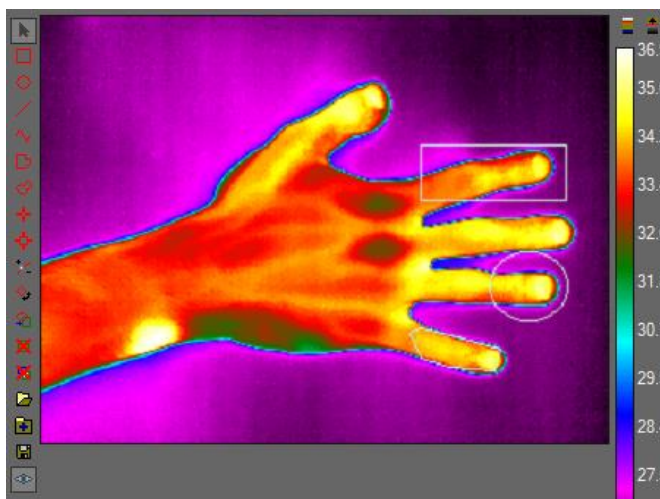
Sąnarių būklė yra vertinama judesio lankstumu, maksimaliu pasukimo kampu nuo ašinės sąnario linijos [24]. Normaliu lankstumu yra laikoma: ekstensija 70°, fleksija 75°, adukcija 20°, abdukcija 35° (1.4 pav.). Taip pat sąnarių dydžiu ir minkštumu, kai yra matomas ištinimas.



1.4 pav. Riešo lankstumo įvertinimas [25]

Reumatoidiniam artritui įvertinti gydytojai bando taikyti termoviziją, tačiau klinikinėje praktikoje tai dar nėra paplitę. Frizes ir kitų atlikto tyrimo [26] metu buvo nustatyta, jog analizuojant termovizines nuotraukas, galima nustatyti reumatoidinio artrito požymius sąnariuose. Tyrimo metu sergančiųjų rankų, riešų, plaštakų ir kelio sąnario temperatūrinės vertės buvo lyginamos su kontrolinės grupės atitinkamų sąnarių temperatūrinėmis vertėmis.

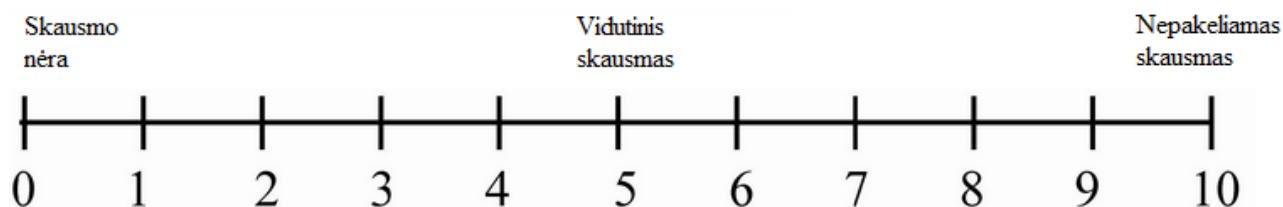
Gydytojai, naudojantys termovizija tyrimuose, susiduria su termovizinių nuotraukų apdorojimo ribojimais. Įrangos gamintojų programos nėra pritaikytos specialioms medicininių vaizdų poreikiams. Šios programos leidžia vartotojui analizuoti iš anksto apibrėžtos formos regionus (stačiakampis, apskritimas) arba pačiam segmentuoti regioną. Medicinoje dažniausiai yra poreikis analizuoti specifines anatomines formas [27]. Standartinės formos neleidžia tiksliai apibrėžti norimo regiono, jos arba apima regionus už norimos analizuoti formos arba tik vidinę analizuojamos formos dalį (1.5 pav.). Tokių būdu atsiranda paklaidos, rezultatai priklauso nuo aplinkos temperatūros (minimalios temperatūros paklaida) arba nuo vidinio regiono panašumo į standartinės formos (vidutinės regiono temperatūros paklaida) [27]. Pasirinkus rankinę segmentaciją, gydytojas labai ilgai užtrunka vedžiodamas norimą kontūrą, nėra tinkamo įrankio kokybiškai ir greitai pažymėti norimą regioną. Atliekant tyrimą ir norint išgauti tikslesnius tyrimo rezultatus yra pasirašomi segmentacijos algoritmai norimoms anatominėms sritims, tačiau jie nebūna sertifikuoti ir gydytojams nėra prieinami. Įvertinus problemą, nuspręsta pasirašyti termovizinių nuotraukų apdorojimo algoritmą šiam tyrimui.



1.5 pav. *ResearchIR* leidžiami pasirinkti analizuojami regionai

Plaštakos suspaudimas yra vertinamas jėga kilogramais. Šiam tikslui galima panaudoti dinamometrą. Normalus suspaudimas 50-54 metų vyrams yra laikomas 32,9 kg–50,7 kg, o moterims 18,1 kg–31,9 kg [28].

Ultragarsinės terapijos efektyvumas yra vertinamas vizualine analogine skausmo skale (1.6 pav.) [29]. Pacientas kas tam tikrą laiko tarpą, dažniausiai *prieš* ir *po* terapijos, įvertina skausmą. Skausmo vertinimui gydytojas dažniausiai naudoja palpacijos metodą. Šio metodo metu paciento plaštakos sąnariai yra spaudžiami ir pacientas įvertina skausmo lygį, galima fiksuoti plaštakoje esančių skaudamų sąnarių skaičių.



1.6 pav. Vizualinė analoginė skausmo skalė

Ultragarsinės terapijos laikas tyrimuose labai varijuoja. Terapinis laikas skirtinguose tyrimuose kinta nuo 5 minučių iki 30 minučių [29, 30].

Kraujotakos aktyvui vertinti galima naudoti kapiliaroskopiją. Šio tyrimo metu vizualiai yra vertinami kapiliarai esantys ties piršto nagu. Kapiliarų forma, išsidėstymas ir spalvos intensyvumas gali parodyti sutrikimus esančius kapiliaruose ir padėti diagnozuoti tokias ligas kaip Reino ligą ar sklerodermą.

1.5. Rinkos analizė

Prieš pradėdant kurti ultragarso ir šilumos terapinį prietaisą buvo atlikta rinkos analizė siekiant išsiaiškinti esančių prietaisų minusus ir plusus. Pagal surinktą informaciją projektuojamas ir sukuriamas terapinis prietaisas MB „Fidens“ įmonėje.

ZetOZ yra sukūrusi ultragarsinės terapijos prietaisą *sam*® (1.7 pav.). Šis prietaisas yra JAV patvirtintas FDA (angl. *Food and Drug Administration*), turi CE ženklą ir yra priskirtas prie antros klasės medicininių prietaisų Malaizijoje ir Singapūre. Prietaiso darbinis dažnis yra 3 MHz ir gali 0.65 W. Prietaisas yra nešiojamas, davikliai yra klijuojami ant norimos paveikti kūno vietos. Yra galimybė pasijungti du ultragarsinius daviklius ir taip veikti du taškus vienu metu. Tačiau šio prietaiso ultragarsinių daviklių negalima kryžiuoti, kad nesusifokusuotų ultragarsinės bangos audiniuose. Davikliai neįšyla daugiau nei odos temperatūra, todėl su šiuo prietaisu šiluminė terapija nėra taikoma [31].



1.7 pav. Ultragarsinės terapijos prietaisas *sam*® [31]

Nanovibronix yra sukūrusi ultragarsinės terapijos prietaisą *PainShield* (1.8 pav.). Šis prietaisas yra JAV patvirtintas FDA, turi CE ženklumą ir yra priskirtas prie II A klasės medicininių prietaisų. Prietaiso darbinis dažnis yra 90 kHz ir galia 0,4 W. Prietaisas yra nešiojamas, tačiau turi galimybę pasijungti tik vieną ultragarsinį daviklį. Taip pat šis prietaisas taiko išorinę šiluminę terapiją, ultragarsinis keitiklis iššyla [32].



1.8 pav. Ultragarsinės terapijos prietaisas *PainShield* [32]

EZultrasound yra sukūrusi ultragarsinės terapijos prietaisą *UltraCure* (1.9 pav.). Šis prietaisas yra JAV patvirtintas FDA, turi CE ženklumą. Prietaiso darbinis dažnis yra 1 MHz ir maksimali galia 4,8 W. Prietaisas turi vieną ultragarsinį daviklį, kurį reikia sutepti specialiu, ultragarsui laidžiu geliu. Ultragarsinė terapija vykdoma į ranką pasiėmus prietaisą ir priglaudus prie norimos vietos. Nėra galimybės ultragarsinį daviklį užsiklijuoti. Prietaisas taip pat nešyla, todėl šiluminė terapija nėra taikoma [33].



1.9 pav. Ultragarsinės terapijos prietaisas *UltraCure* [33]

1.6. Literatūros analizės išvados

Atlikta literatūros analizė rodo, jog reumatinės ligos yra gan stipriai paplitusios pasaulyje. Šiomis ligomis sergantys žmonės gali jausti skausmus plaštakose ir riešo srityje, taip netenkant dalies gyvenimo kokybės. Šių ligų gydymui yra taikomos ultragarsinės bei šiluminės terapijos. Rinkoje nėra patogaus terapinio prietaiso skirto būtent plaštakų gydymui. Apjungiant ultragarsinę terapiją ir šiluminę terapiją, padidinus daviklių skaičių, patogiai išdėstant juos aplink riešą bei įjungiant pakaitomis, galimai būtų išgautas didesne terapinis efektas.

Prietaiso efektyvumo vertinimui galima apjungti riešo lankstumo, skausmo lygio bei temperatūros pokyčio parametrus. Termovizinių nuotraukų apdorojimui reikalingas papildomas algoritmas, leisiantis greičiau ir tiksliau įvertinti temperatūrinius pokyčius.

2. Metodai ir realizacija

2.1. Naudota įranga

Tyrime buvo naudojamas termovizorius *FLIR T450sc* (kameros tikslumas prie +30 °C yra 0.04 °C), termovizinių nuotraukų analizei *ResearchIR* programinė įranga bei *MatLab* programinė įranga, riešo lankstumui vertinti buvo naudojamas mechaninis goniometras, jėgos matavimui naudojamas dinamometras *CAMRY EH101*. Ultragarso ir šilumos terapijai perduoti keturiais davikliais buvo sukurtas MB „Fidens“ įmonėje ultragarsinės terapijos įrenginys, kuriame naudojami piezo elementai, pasižymintys 125 kHz rezonansiniu dažniu (2.1 pav.). Sukurtas ultragarsinės terapijos įrenginys buvo patentuotas Lietuvos respublikos valstybiniam patentų biure (4 priedas). Taip pat terapijos palyginimui buvo naudotas sertifikuotas ultragarsinės vieno daviklio terapijos prietaisas *PainShield*.

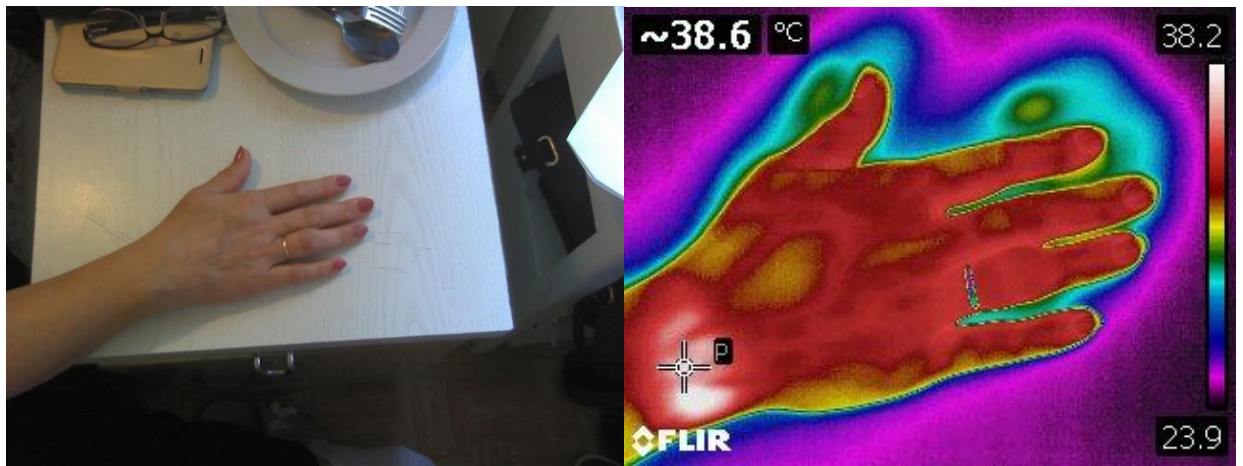
Kraujo apykaitos pokyčiams užfiksuoti buvo naudojamas skaitmeninis mikroskopas.



2.1 pav. Sukurtas MB „Fidens“ įmonėje ir tyrime naudotas ultragarsinės terapijos prietaisas

2.2. Termovizinių nuotraukų apdorojimas

FLIR T450sc termovizorius sukuria 320 x 240 pikselių raiškos termovizines nuotraukas bei 2048 x 1536 pikselių raiškos standartines nuotraukas (2.2 pav.). Abi nuotraukos fotografuojant yra sukuriamos tuo pačiu metu ir išsaugomos. Nuotraukas galima analizuoti integruotame kameros ekrane, tačiau siekiant išgauti tikslesnius rezultatus, gautos nuotraukos yra analizuojamos įsikėlus į kompiuterį. Nuotraukų apdorojimui pirmiausia buvo naudojama oficiali *FLIR ResearchIR* programinė įranga, tačiau siekiant greičiau ir tiksliau analizuoti nuotraukas buvo parašytas automatinis termovizinių nuotraukų apdorojimo algoritmas naudojant *MatLab* programinės įrangos paketą. Algoritmas buvo palygintas savo tikslumu su *FLIR ResearchIR*.



2.2 pav. Sukuriamos nuotraukos naudojant *FLIR T450sc*. Kairėje – standartinė nuotrauka, dešinėje – termovizinė

Palyginti *MatLab* algoritmą su *FLIR ResearchIR* buvo pasirinktos 3 atsitiktinės termovizinės nuotraukos ir analizuojami po 20 taškų ir 20 regionų termovizinėse nuotraukose. Regionus sudarė 9 pikseliai, 3 x 3 pikselių kvadratai. Palyginimo tikslas buvo nuspręsti ar galima naudoti *MatLab* algoritmą vietoj *ResearchIR* ir kaip skirtūsi tyrimo rezultatai matuojant temperatūrą taške ir regione. Rezultatai pateikiami 2 lentelėje.

Gavus palyginimo rezultatus, buvo nuspręsta matuoti temperatūrines vertes regionuose, dėl mažesnio temperatūrinio pasiskirstymo bei naudoti *MatLab* algoritmą vietoj *ResearchIR* programinės įrangos dėl: a) *MatLab* algoritmas automatiškai pažymi analizuojamus taškus ir pateikia reikiamas temperatūrines reikšmes b) *MatLab* algoritmas pakankamai tiksliai atkartoja rezultatus gautus su *FLIR ResearchIR*.

2 lentelė. *MatLab* algoritmo ir *FLIR ResearchIR* programinės įrangos palyginimo rezultatai

	<i>MatLab</i> algoritmas	<i>FLIR ResearchIR</i>
Standartinis nuokrypis tarp taško ir regiono, C°	0.08	0.05
Vidutinis nuokrypis tarp taško ir regiono, C°	0.05	0.05
Vidutinis temperatūros skirtumas tarp <i>MatLab</i> algoritmo ir <i>ResearchIR</i> taškų, C°	0.06	
Vidutinis temperatūros skirtumas tarp <i>MatLab</i> algoritmo ir <i>ResearchIR</i> regionų, C°	0.04	

MatLab algoritmas:

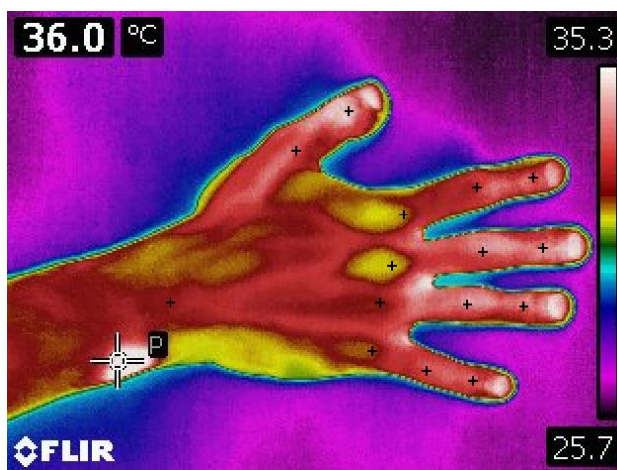
1. Skalės verčių prilyginimas spalvoms.
2. Plaštakos kontūro atpažinimas.
3. Temperatūrinių verčių iš dominančių regionų išsaugojimas.

Termovizinė nuotrauka, įkelta į *MatLab* aplinką, praranda informaciją nusakančia spalvinę ir temperatūrinę skalę, todėl algoritmas pirmiausia priskiria temperatūrinę vertę pikselių spalvoms. Dešinėje esanti skalė yra iškerpama ir proporcingai padalinama skalėje esančioms spalvoms nuo viršutinės iki apatinės temperatūrinės vertės. Pažymėjus nuotraukoje esantį tašką ar regioną, pikseliai yra palyginami su skalėje esančiomis spalvinėmis vertėmis ir mažiausią standartinį nuokrypį turinti spalva imama kaip esamoji pažymėtame taške.

Plaštakos kontūrai atpažinti naudojamas šablonas. Šablonui sukurti buvo naudojami 25 plaštakos kontūrai. Kiekvienas plaštakos kontūras atitinkamai koregavo pirminį kontūrą, proporcingai nuo jau panaudotų kontūrų kiekio. Skaičiavimas buvo paremtas euklidinio atstumo vidurkiu. Panaudojus visus 25 plaštakos kontūrus buvo gautas vidutinis plaštakos kontūro šablonas.

Šablono atitikmuo nuotraukoje skaičiuojamas pagal koreliaciją tarp šablono ir pagrindinės nuotraukos. Siekiant geriau atitaikyti šabloną analizuojamai nuotraukai, šablonas yra sukiojamas ir keičiamas jo mastelis.

Algoritmas koreliacinėje matricioje suranda didžiausią atitiktį tarp analizuojamos nuotraukos ir šablono. Sekančiame žingsnyje yra naudojamos šios atitikties koordinatės bei šablonas su atitinkamu pasukimu ir masteliu. Uždėjus šablono plaštakos kontūrą, algoritmas išsaugo 15 vidutinių temperatūrinių regiono verčių. Vizualinis algoritmo rezultatas pateiktas 2.3 paveikslėlyje.



2.3 pav. Algoritmo pažymėti 15 taškų termovizinėje nuotraukoje

2.3. Tiriamos grupės

„Bėgančios bangos“ ultragarsinės terapijos tyrime dalyvavo 24 pacientų grupė LSMU Kauno klinikose. Pacientų grupę sudarė: 13 reumatoidinių artritu sergančių pacientų, 11 sisteminę skleroderma bei Reino liga sergančių pacientų. Šioje grupėje buvo 6 vyrai ir 18 moterų, amžiaus

vidurkis buvo 57,2 (+-17,9) metai. Tyrimui su žmonėmis atlikti buvo gautas bioetikos leidimas iš LSMU bioetikos centro (1 priedas).

Kontrolinės grupės naudojant „bėgančios bangos“ ultragarsinės terapiją amžiaus vidurkis buvo 22 (+-2,6). Šioje grupėje buvo 8 vyrai ir 5 moterys.

Placebo grupės amžiaus vidurkis buvo 22,9 (+-2,3). Šioje grupėje buvo 9 vyrai ir 4 moterys.

Vieno daviklio ultragarsinės terapijos komercinio įrenginio grupės amžiaus vidurkis buvo 22,9 (+-2,3). Šioje grupėje buvo 9 vyrai ir 4 moterys.

Placebo grupėje buvo tiriami tie patys žmonės, pirma atlikus tyrimą su neįjungtu keturių daviklių įrenginiu, o po terapijos praėjus 20 minučių tyrimas kartojamas su vieno daviklio ultragarsinės terapijos komerciniu įrenginiu.

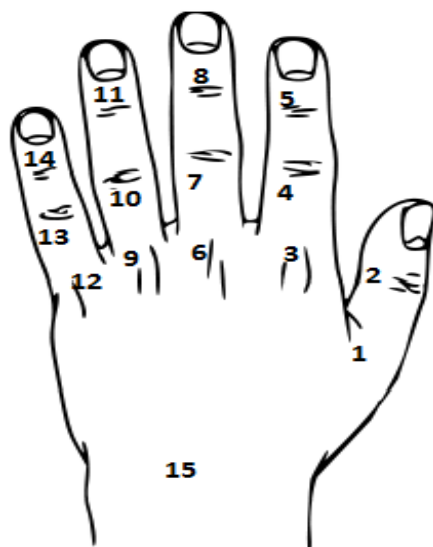
Kontrolinėje, *placebo* ir vieno daviklio ultragarsinės terapijos grupėje tiriamieji neturėjo nusiskundimų sveikata bei neturėjo diagnozuotų reumatinių ligų.

2.4. Duomenų surinkimo eiga

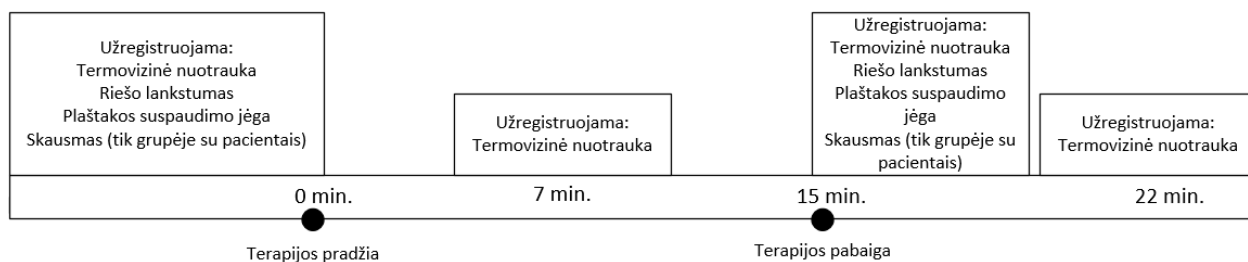
Paciento plaštakos temperatūrą įtakoja aplinkos temperatūra bei metabolizmas ir laikas, kuriuo metu pacientas buvo valgęs. Norint sumažinti šių veiksnių įtaką, tyrimas buvo daromas ~2 val. po pusryčių arba pietų bei pacientui adaptavus prie kambario temperatūros t. y. bent 15 minučių ramiai sėdint ar gulint kambaryje. Taip pat pacientams yra draudžiama trinti rankas ar jas kitaip šildyti bei rankas užkloti prieš terapiją ir tyrimo metu. Prieš pradėdant terapiją, nuo paciento rankos yra užregistruojama penkiolikoje taškų plaštakos temperatūra (2.4 pav.), riešo lankstumas ir plaštakos suspaudimo jėga. Grupėje su pacientais registruojamas subjektyvus paciento riešo skausmo lygis, suspaudus riešo centrą ties 15 tašku. Ultragarso bei šiluminio poveikio trukmė 15 minučių. Praėjus 7 minutėms nuo terapijos pradžios, užregistruojama tik plaštakos temperatūra. Penkioliktas taškas išmatuojamas šalia ultragarsinės apyrankės, nes terapijos metu ji nėra nusiimama. Praėjus 15 terapijos minučių yra nutraukiamas ultragarso iš šiluminis poveikis bei išmatuojama plaštakos temperatūra, riešo lankstumas ir plaštakos suspaudimo jėga. Grupėje su pacientais registruojamas subjektyvus paciento riešo skausmo lygis, suspaudus riešo centrą ties 15 tašku. Praėjus 22 minutėms nuo terapijos pradžios yra užregistruojama tik plaštakos temperatūra tuose pačiuose taškuose. Tyrimo eigos vizualinė schema pavaizduota 2.5 paveikslėlyje.

Duomenų pasiskirstymo normalumui nustatyti buvo naudojamas Lilliefors testas. Esant normaliam duomenų pasiskirstymui, statistiniam duomenų patikimumui nustatyti buvo naudojamas porinis

Studento t-testas, o esant nenormaliam duomenų pasiskirstymui – Wilcoxon testas. Statistiškai patikima kai $\alpha < 0,05$.



2.4 pav. Tyrime matuojami šiluminiai taškai

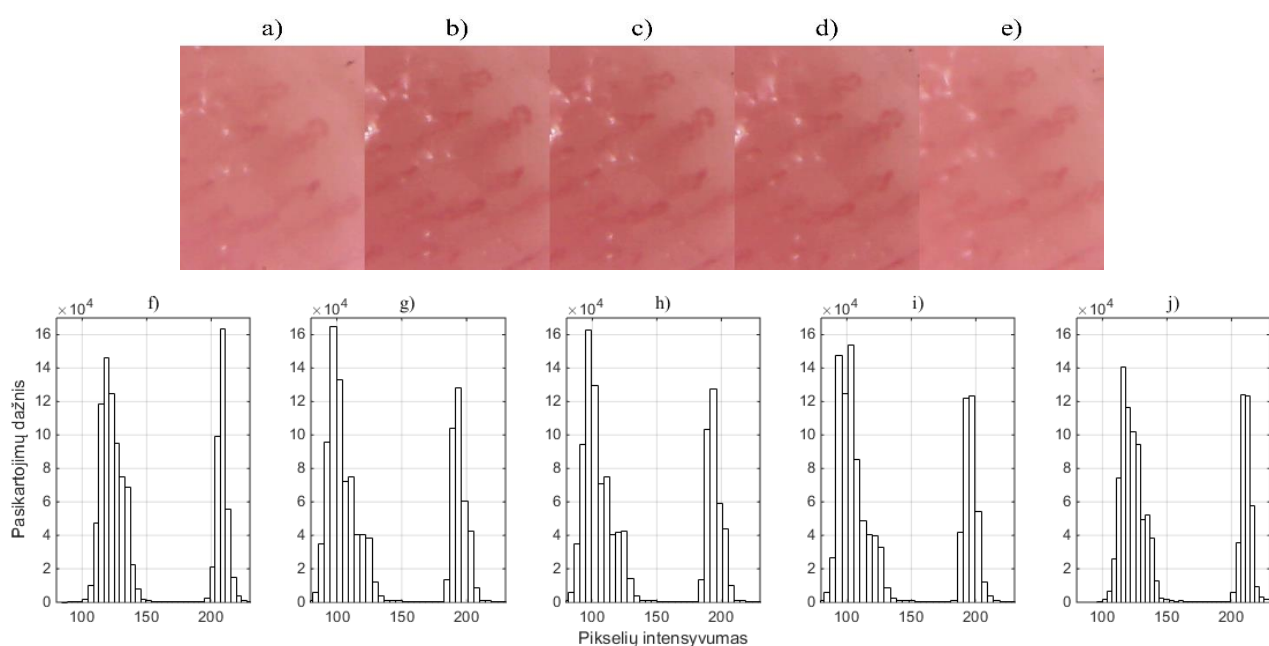


2.5 pav. Tyrimo eiga

3. Rezultatai

3.1. Kraujo apykaitos pokyčiai terapijos metu

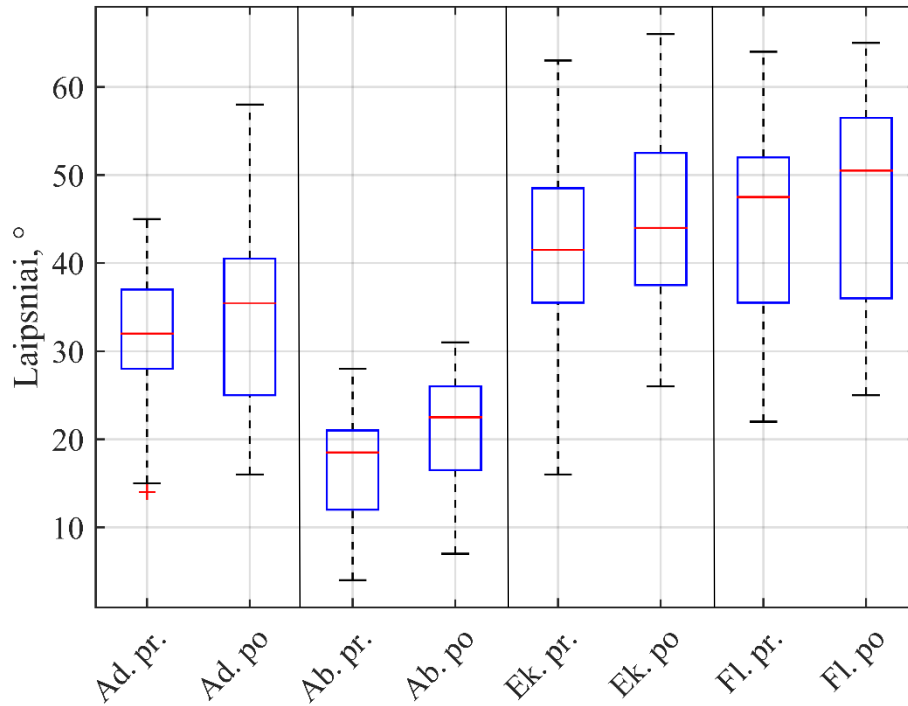
Patikrinus penkių žmonių nagų kapiliarus prieš, per ir po terapijos buvo pastebėtas kraujotakos intensyvumo pokytis. Kapiliarų nuotraukos ir jų histogramos pavaizduotos 3.1 paveikslėlyje. Praėjus vienai minutei po terapijos pradžios, jau pastebimas pokytis, kapiliarai vizualiai ryškesnis. Praėjus penkioms minutėms po terapijos, kapiliarai vizualiai pasikeitė į panašesnius kaip ir prieš terapiją. Histogramos pokytis taip pat matomas. *Prieš* ir *po* terapijos dominuojančios spalvų intensyvumo vertės yra 120-122 ir 207-211. Terapijos metu dominuojančios spalvų intensyvumo vertės yra 96-97 ir 190-195.



3.1 pav. Nago kapiliarų nuotraukos ir jų histogramos. a) kapiliarų vaizdas prieš terapiją b) kapiliarų vaizdas po 1 terapijos minutės c) kapiliarų vaizdas po 3 terapijos minučių d) kapiliarų vaizdas po 5 terapijos minučių e) terapijos vaizdas praėjus 5 minutėms po terapijos f) prieš terapiją darytos kapiliarų nuotraukos histograma g) po 1 terapijos minutės darytos kapiliarų nuotraukos histograma h) po 3 terapijos minutės darytos kapiliarų nuotraukos histograma i) po 5 terapijos minutės darytos kapiliarų nuotraukos histograma j) praėjus 5 minutėms po terapijos darytos kapiliarų nuotraukos histograma

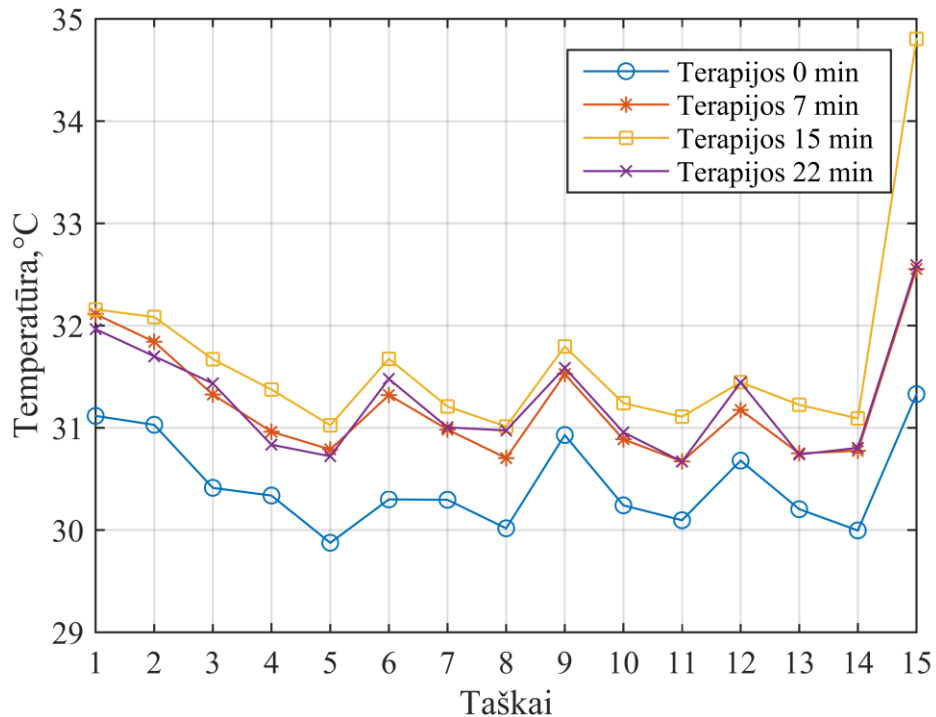
3.2. Keturių daviklių grupės rezultatai

Šioje grupėje užregistruotos plaštakos suspaudimo jėgos pokytis *prieš* ir *po* terapijos neturėjo statistiškai reikšmingo pokyčio. Riešo lankstumas visomis keturiomis ašimis pagerėjo po terapijos. (3.2 pav.). Fleksija padidėjo 6,42 %, ekstenzija padidėjo 7 %, adukcija padidėjo 9,4 %, abdukcija padidėjo 19,44 %.



3.2 pav. Riešo lankstumo palyginimas *prieš* ir *po* terapijos. Ab. – abdukcija, Ad. – adukcija, Ek. – ekstenzija, Fl. – fleksija, pr. – prieš

Temperatūrų palyginimas prieš terapiją ir praėjus 15 minučių terapijos parodė pakilusią temperatūrą visuose matuojamuose taškuose. Per pirmas septynias terapijos minutes, temperatūra pakilo taškuose pažymėtuose 1, 2, 3, 5, 6, 7 ir 15 numeriais. Paskutinės aštuonios terapijos minutės (nuo septintos iki penkioliktos minutės) parodė, jog temperatūra pakilo tik 15 taške, kur ir buvo koncentruotas šildymas. Temperatūros prieš terapiją ir praėjus 7 minutėms po terapijos pabaigos parodė temperatūrinius padidėjimus 3, 6, 9, 12 ir 15 taškuose bei per šias 7 minutes temperatūra nukrito 2, 4, 11, 13, 15 taškuose. Temperatūros palyginimas tarp terapijos 7 minutės temperatūros ir 7 minučių po terapijos temperatūros neparodė reikšmingo pokyčio. Visų temperatūrų verčių vidurkiai pavaizduoti 3.3 paveikslėlyje.



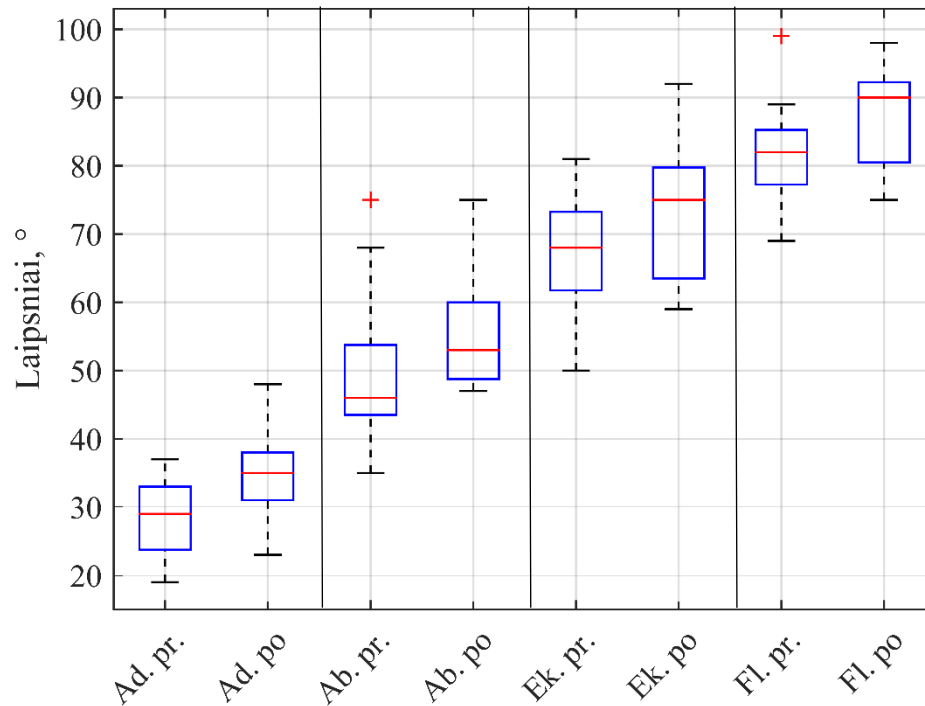
3.3 pav. Temperatūrinės vertės matuotuose taškuose: mėlyna linija – prieš terapiją; oranžinė linija – terapijos metu, praėjus 7 minutėms; geltona linija – iškart po terapijos; violetinė linija – praėjus 7 minutėms po terapijos

Pas visus tiriamuosius buvo pastebėtos mažesnės temperatūros pirštų galuose nei plaštakoje. Dauguma pacientų, sergančių sisteminė skleroderma teigė, jog jautė temperatūros padidėjimą plaštakoje po terapijos. Didžiausias temperatūrinis pokytis buvo fiksuojamas 15 taške, kur ir buvo koncentruota šiluma (+3,48 °C). 3, 5 ir 6 taškuose atitinkamai temperatūra padidėjo per +1,26 °C, +1,15 °C, +1,38 °C. Likusiuose taškuose temperatūra padidėjo +0,77 °C, +1,1 °C diapazone.

Riešo skausmo vertinimas *prieš* ir *po* terapijos buvo registruotas tik šioje grupėje. Vidutinis pacientų skausmo įvertis prieš terapiją buvo 5,5 balai, o po terapijos buvo 4,76 balai.

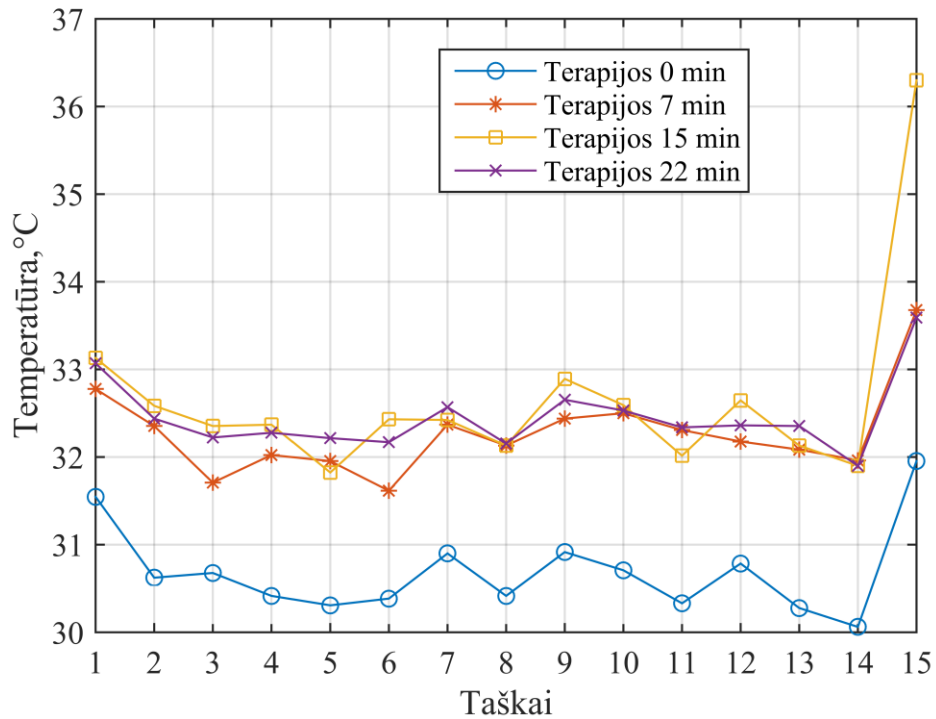
3.3. Kontrolines grupės rezultatai

Šioje grupėje užregistruotos plaštakos suspaudimo jėgos pokytis *prieš* ir *po* terapijos neturėjo statistiškai reikšmingo pokyčio. Riešo lankstumas visomis keturiomis ašimis pagerėjo po terapijos. (3.4 pav.). Fleksija padidėjo 5,74 %, ekstenzija padidėjo 6,38 %, adukcija padidėjo 18,9 %, abdukcija padidėjo 9,66 %.



3.4 pav. Riešo lankstumo palyginimas *prieš* ir *po* terapijos. Ab. – abdukcija, Ad. – adukcija, Ek. – ekstenzija, Fl. – fleksija, pr. – prieš

Temperatūrų palyginimas prieš terapiją ir praėjus 15 minučių terapijos parodė pakilusią temperatūrą visuose matuojamuose taškuose, išskyrus pirštų galus (5,8,11,14). Per pirmas septynias terapijos minutes, temperatūra pakilo taškuose pažymėtuose 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13 ir 15 numeriais. Paskutinės aštuonios terapijos minutės (nuo septintos iki penkioliktos minutės) parodė, jog temperatūra pakilo 3, 6 ir 15 taškuose. Temperatūros prieš terapiją ir praėjus 7 minutėms po terapijos pabaigos parodė temperatūrinius padidėjimus 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13 ir 15 taškuose. Per paskutines 7 tyrimo minutes reikšmingo temperatūros pakitimo nebuvo. Temperatūros palyginimas tarp terapijos 7 minutės temperatūros ir 7 minučių po terapijos temperatūros taip pat neparodė reikšmingo pokyčio. Visų temperatūrų verčių vidurkiai pavaizduoti 3.5 paveikslėlyje.

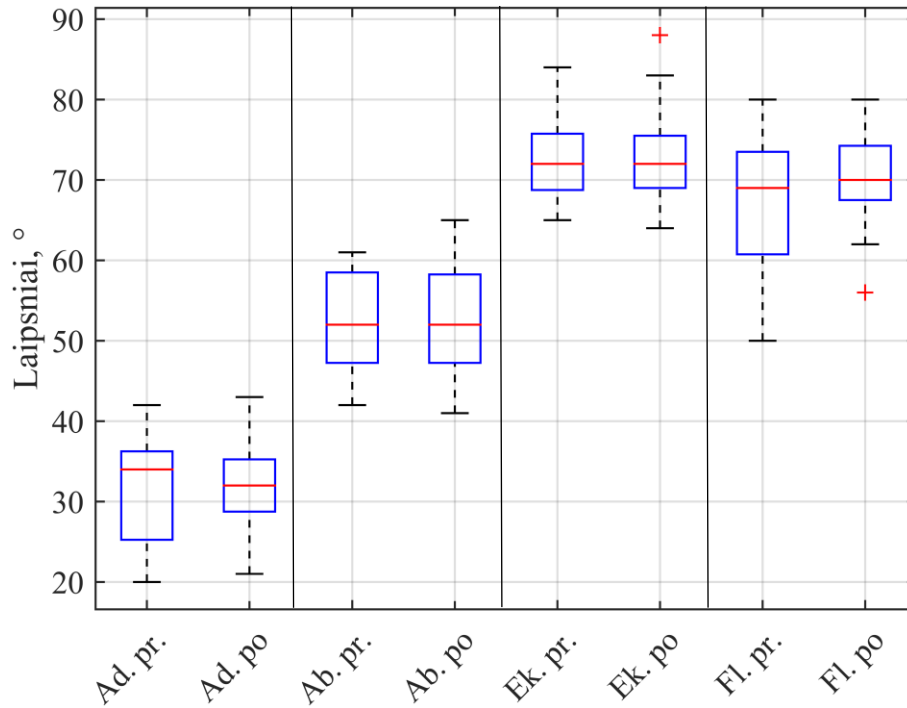


3.5 pav. Temperatūrinės vertės matuotuose taškuose: mėlyna linija – prieš terapiją; oranžinė linija – terapijos metu, praėjus 7 minutėms; geltona linija – iškart po terapijos; violetinė linija – praėjus 7 minutėms po terapijos

Didžiausias temperatūrinis pokytis buvo fiksuojamas 15 taške, kur ir buvo koncentruota šiluma (+4.3 °C). 2, 9 ir 6 taškuose atitinkamai temperatūra padidėjo per +1,96 °C, +1,97 °C, +2,04 °C. Likusiuose taškuose temperatūra padidėjo +1,51 °C, +1,91 °C diapazone.

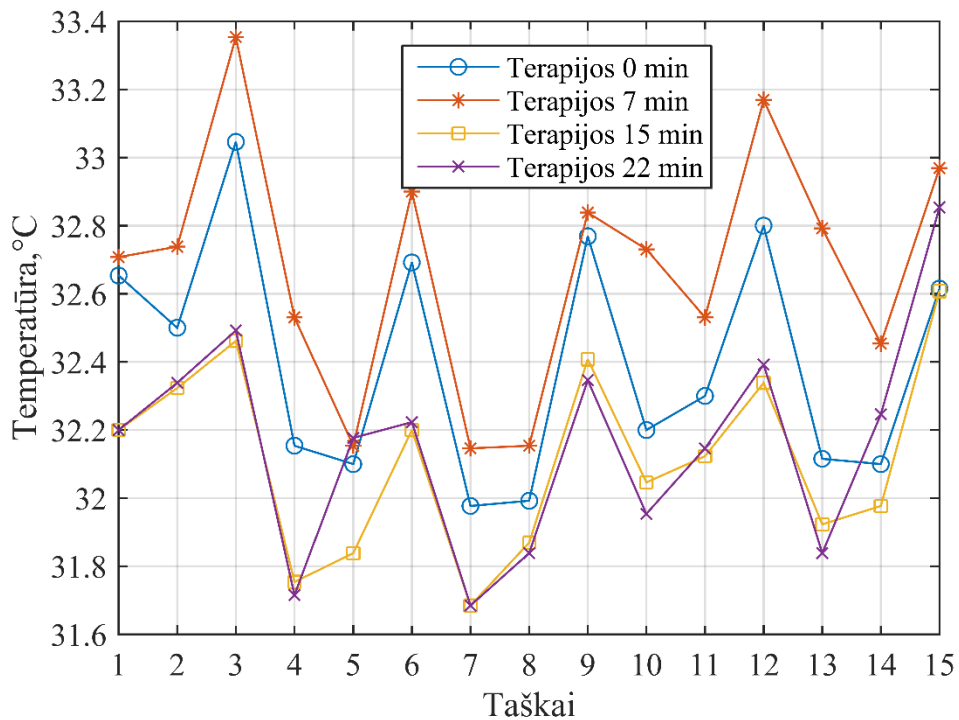
3.4. Placebo grupės rezultatai

Šioje grupėje užregistruotos plaštakos suspaudimo jėgos pokytis *prieš* ir *po* terapijos neturėjo statistiškai reikšmingo pokyčio. Riešo lankstumas visomis keturiomis ašimis neparodė statistiškai reikšmingo pokyčio po terapijos (3.6 pav.).



3.6 pav. Riešo lankstumo palyginimas *prieš* ir *po* terapijos. Ab. – abdukcija, Ad. – adukcija, Ek. – ekstenzija, Fl. – fleksija, pr. – prieš

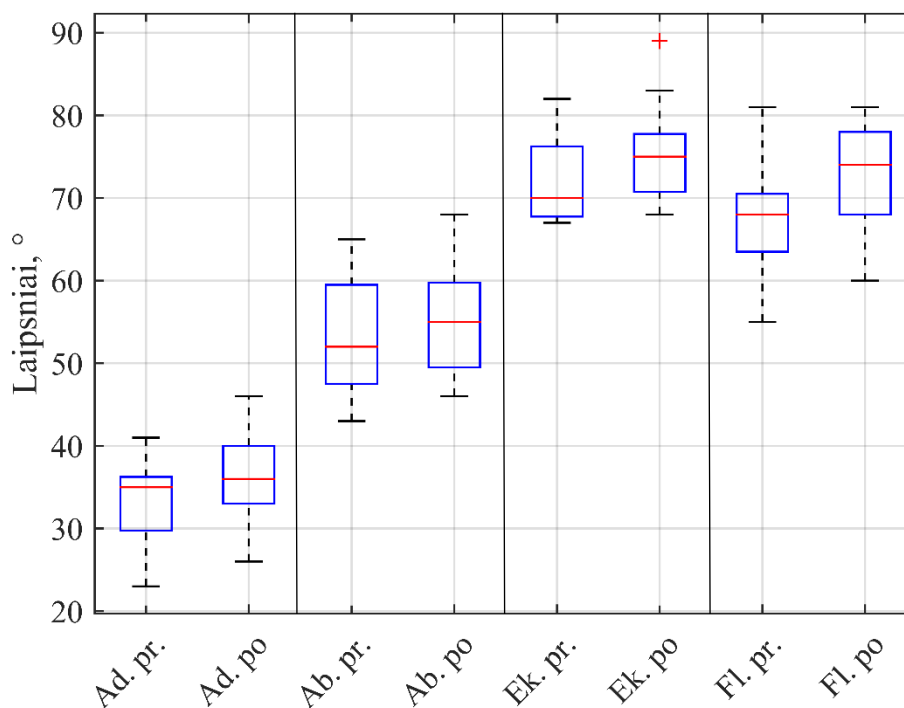
Temperatūriniai pokyčiai taip pat nebuvo statistiškai reikšmingi (3.7 pav.).



3.7 pav. Temperatūrinės vertės matuotuose taškuose: mėlyna linija – prieš terapija; oranžinė linija – terapijos metu, praėjus 7 minutėmis; geltona linija – iškart po terapijos; violetinė linija – praėjus 7 minutėmis po terapijos

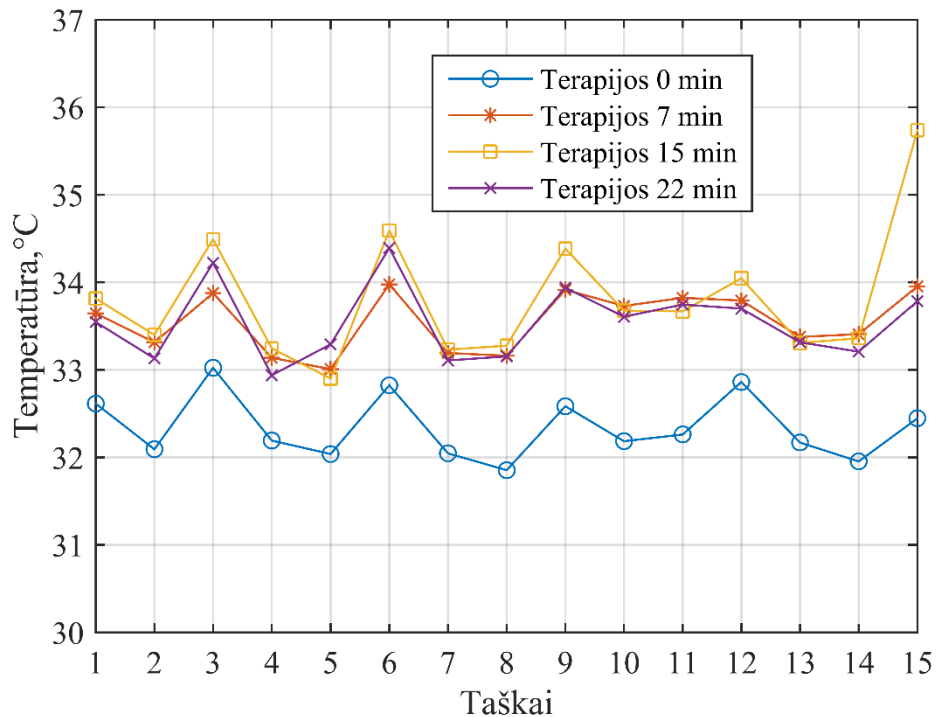
3.5. Vieno daviklio grupės rezultatai

Šioje grupėje užregistruotos plaštakos suspaudimo jėgos pokytis *prieš* ir *po* terapijos neturėjo statistiškai reikšmingo pokyčio. Riešo lankstumas visomis keturiomis ašimis pagerėjo po terapijos (3.8 pav.). Fleksija padidėjo 6,1 %, ekstenzija padidėjo 4,29 %, adukcija padidėjo 9,3 %, abdukcija padidėjo 3,78 %.



3.8 pav. Riešo lankstumo palyginimas *prieš* ir *po* terapijos. Ab. – abdukcija, Ad. – adukcija, Ek. – ekstenzija, Fl. – fleksija, pr. – prieš

Temperatūrų palyginimas prieš terapiją ir praėjus 15 minučių po terapijos parodė pakilusią temperatūrą visuose matuojamuose taškuose. Per pirmąsias septynias terapijos minutes temperatūra pakilo visuose taškuose, išskyrus pažymėtuose 5, 8 ir 11 numeriais. Paskutinės aštuonios terapijos minutės (nuo septintos iki penkioliktos minutės) parodė, jog temperatūra pakilo 3, 6 ir 15 taškuose. Temperatūros prieš terapiją ir praėjus 7 minutėms po terapijos pabaigos parodė temperatūros padidėjimus visuose, išskyrus 4, 8 ir 14, taškuose. Per paskutines 7 tyrimo minutes reikšmingo temperatūros pakitimo nebuvo. Temperatūros palyginimas tarp terapijos 7 minutės temperatūros ir 7 minučių po terapijos temperatūros neparodė reikšmingo pokyčio. Visų temperatūrų verčių vidurkiai pavaizduoti 3.9 paveikslėlyje.

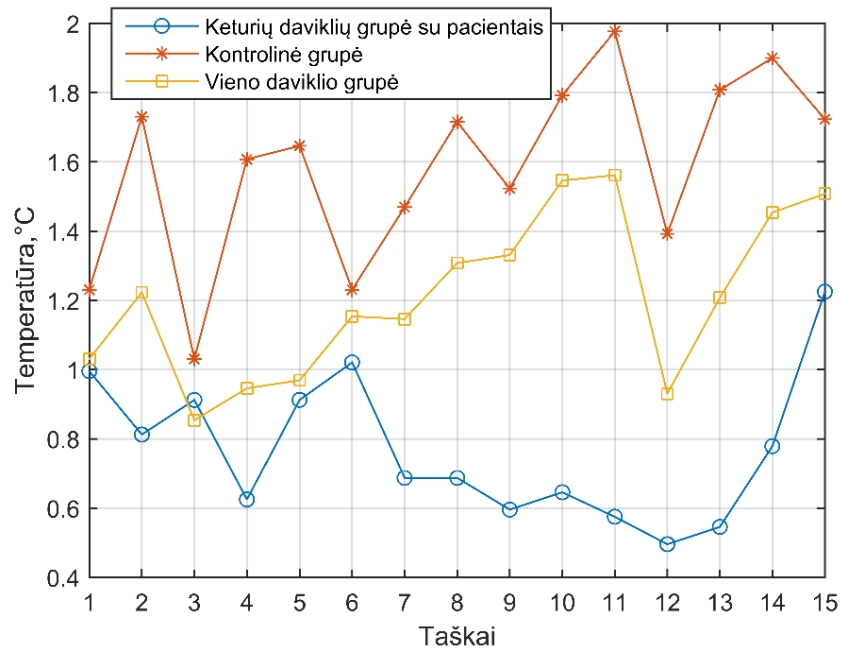


3.9 pav. Temperatūrinės vertės matuotuose taškuose: mėlyna linija – prieš terapiją; oranžinė linija – terapijos metu, praėjus 7 minutėms; geltona linija – iškart po terapijos; violetinė linija – praėjus 7 minutėms po terapijos

Didžiausias temperatūrinis pokytis buvo fiksuojamas 15 taške, kur ir buvo koncentruota šiluma (+3,29 °C). 10, 6 ir 9 taškuose atitinkamai temperatūra padidėjo per +1,49 °C, +1,76 °C, +1,8 °C. Likusiuose taškuose temperatūra padidėjo +0,86 °C, +1,46 °C diapazone.

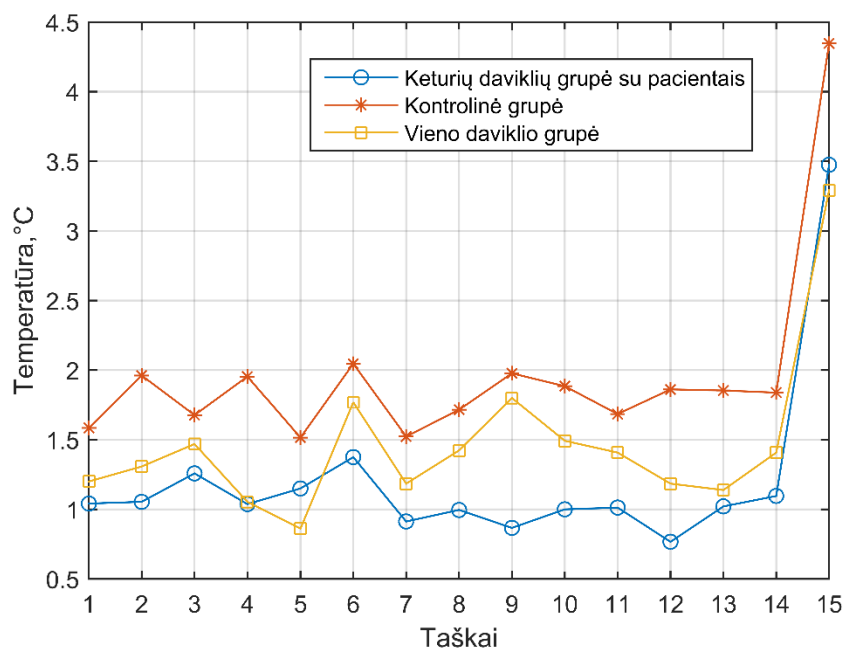
3.6. Palyginamieji rezultatai

Kontrolinėje grupėje, per pirmąsias 7 minutes, vidutiniškai temperatūra plaštakoje pakilo +1,58 °C, keturių daviklių grupėje su pacientais +0,77 °C, o vieno daviklio grupėje +1,21 °C. Kiekvieno taško rezultatai pateikti 3.10 paveikslėlyje.



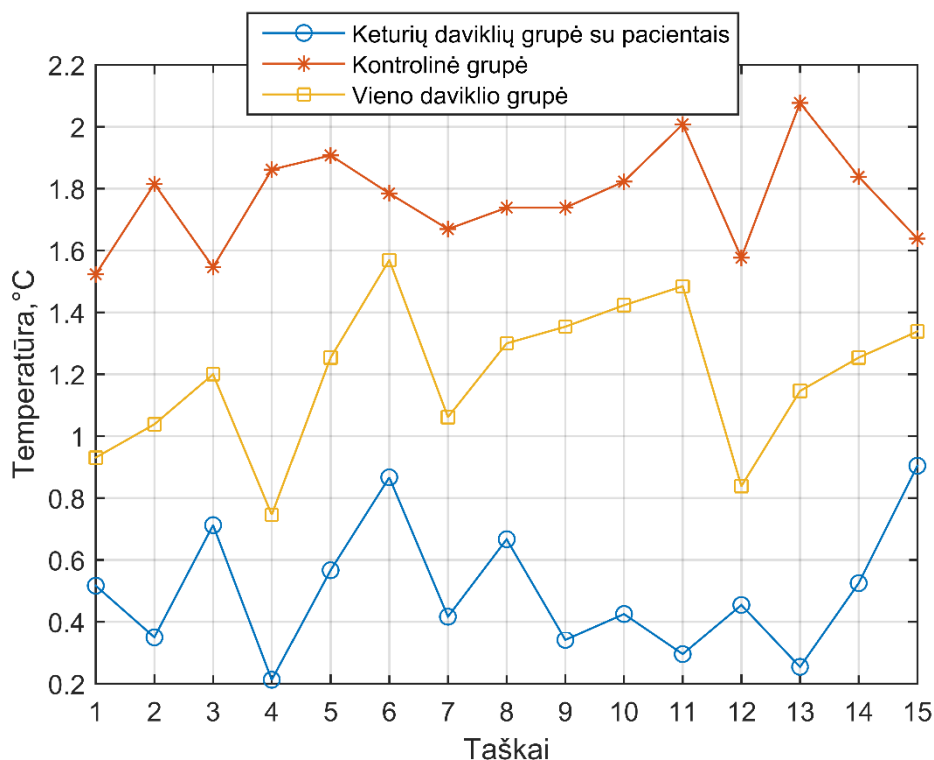
3.10 pav. Pirmų 7 minučių temperatūrinis pokytis trijuose grupėse

Kontrolinėje grupėje, per 15 minučių, vidutiniškai temperatūra plaštakoje pakilo +1,96 °C, keturių daviklių grupėje su pacientais +1,2 °C, o vieno daviklio grupėje +1,46 °C. Neįtraukiant į skaičiavimus 15 taško, kontrolinėje grupėje, per 15 minučių, vidutiniškai temperatūra plaštakoje pakilo +1,79 °C, keturių daviklių grupėje su pacientais +1,04 °C, o vieno daviklio grupėje +1,33 °C. Kiekvieno taško rezultatai pateikti 3.11 paveikslėlyje.



3.11 pav. Penkiolikos minučių temperatūrinis pokytis trijuose grupėse

Trijų grupių temperatūrinis palyginimas prieš terapiją ir praėjus 7 minutėms po terapijos pateiktas 3.12 paveikslėlyje. Didžiausias išliekamasis pokytis fiksuotas kontrolinėje grupėje, o mažiausias keturių daviklių grupėje su sergančiaisiais.



3.12 pav. Viso tyrimo (22 min.) temperatūrinis pokytis trijuose grupėse

Trečioje lentelėje atvaizduota trijų grupių palyginamieji riešo lankstumo rezultatai keturiomis kryptimis. Didžiausias pagerėjimas fiksuotas keturių daviklių grupėje su pacientais riešo abdukcijoje 19,44 %. Mažiausias pagerėjimas fiksuotas vieno daviklio grupėje riešo ekstenzijoje 4,29 %. Vidutiniškai riešo lankstumas keturių daviklių grupėje pagerėjo 10,57 %, kontrolinėje grupėje vidutiniškai riešo lankstumas padidėjo 10,17 %, o vieno daviklio grupėje 5,87 %.

3 lentelė. Trijų grupių riešo lankstumo rezultatai

	Keturių daviklių su pacientais grupė		Kontrolinė grupė		Vieno daviklio grupė	
	laipsniai	%	laipsniai	%	laipsniai	%
Ekstenzija	3.16	7	4.61	6.38	3.23	4.29
Fleksija	3.04	6.42	5	5.74	4.84	6.1
Adukcija	3.25	9.4	6.61	18.9	3.46	9.3
Abdukcija	4.04	19.44	5.30	9.66	2.07	3.78

4. Diskusija

Siekiant patikrinti ar keturių daviklių ultragarsinė ir šiluminė apyrankė suaktyvina kraujotaką kapiliaruose buvo atlikta kapiliaroskopija. Nago kapiliarai tapo ryškesni terapijos metu ir po terapijos vizualiai atsistatė į pradinę stadiją. Kapiliarų formos pakitimų atliekant terapiją su sveikais žmonėms nebuvo pastebėta. Vizualiai kapiliarų pokytį stebėti yra gan sunku, todėl buvo remtasi ir nuotraukų histogramomis. Jos patvirtino, jog terapijos metu kapiliarai tapo ryškesni. Terapijos metų vizualinio pokyčio nebuvo pastebėta, galimai dėl to, jog kraujotakos sistema greitai suaktyvėja iki tam tikro lygio ir daugiau nesikeičia pas sveikus žmones. Esant Reino ligai ar reumatoidiniam artritui, gali būtų stebimas kapiliarų formos ir ryškumo pokytis terapijos metu. Prasidėjus terapijai RGB spalvų gamoje histogramos vidutinės vertės rodė sodresnę raudoną spalvą. Prieš terapiją ir praėjus penkios minutės po terapijos histogramų viršūnės sutapo. Prasidėjus terapijai, šiluma ir ultragarsas paskatina kraujotakos cirkuliaciją, todėl prisipildo pirštuose esantys kapiliarai ir jie tampa ryškesni. Kapiliaroskopijos tikslas buvo užfiksuoti kraujotakos pokytį pirštų galūnėse veikiant ultragarsinei ir šiluminei terapijai. Šio metodo buvo nuspręsta netaikyti tiriamųjų grupėse dėl nepatogaus vaizdo registravimo su turima įranga.

Sukurtas termovizinių nuotraukų automatinis apdorojimo algoritmas padėjo greičiau surašyti reikiamas temperatūras termovizinėse nuotraukose. Taip pat sumažinti žmogiškojo faktoriaus įtaka duomenų surašymui, kai nėra tiksliai pažymimas analizuojamas sąnario taškas. Šiame tyrime aktualu buvo tik sąnarių regionai, neregistruojant temperatūros šalia sąnario esančiam plaštakos plote. Algoritmas yra nesunkiai modifikuojamas ir gali būtų pritaikomas analizuoti kitas kūno sritis, padarius naują dominančios srities šabloną. Taip pat pakeitus užduotus algoritmo regionus galima analizuoti automatiškai segmentuotus regionus, pavyzdžiui kiekvieną pirštą atskirai, ko neleidžia padaryti oficiali *ResearchIR* programinė įranga. Tokio algoritmo įdiegimas į oficialią programinę įrangą leistų gydytojams greičiau ir tiksliau analizuoti termovizines nuotraukas.

Didžiausias temperatūrinis pokytis buvo fiksuotas visose grupėse, išskyrus *placebo* grupę, per pirmąsias 7 terapijos minutes. Laiko tarpas nuo 7 terapijos minutės iki 15 terapijos minutės neparodė statistiškai reikšmingo temperatūrinio pokyčio. Matant tokius tyrimo rezultatus, galima teigti, jog šiluminė terapija yra aktyviausia pirmąsias 7 minutes, o po to jos poveikis tampa mažesnis. Kitame tyrime galima būtų atrasti šiluminės terapijos lūžio tašką, kurią terapijos minutę pasiekama aukščiausia plaštakos temperatūra. Radus šį tašką, galima rezultatus lyginti su riešo lankstumu, taip nustatant optimalią terapijos trukmę. Didžiausias temperatūros pokytis per pirmąsias 7 minutes buvo fiksuotas kontrolinėje grupėje, kurioje vidutiniškai temperatūra pakilo per 1,58 °C. Taip pat buvo nustatyta, jog plaštakos temperatūra išsilaiko ir po terapijos. Matuojant plaštakos temperatūrą praėjus 7 minutėms po terapijos pabaigos, neigiamas temperatūros pokytis nebuvo statistiškai reikšmingas, o

vidutinės temperatūros grupėse išliko didesnės nei matuotos prieš terapiją. Remiantis šiais rezultatais galima teigti, jog šiluminis poveikis turi išliekamąjį efektą. Ateityje siūloma atlikti tyrimus, kuriuose būtų galima nustatyti išliekamąjį temperatūrinio poveikio laiką. Tai leistų nustatyti laiko tarpą, po kurio būtų efektyvu kartoti terapiją, t. y. išlaikyti pastovų šilumos ir ultragarso efektą.

Didesnis temperatūrinis pokytis buvo pastebėtas keturių daviklių kontrolinėje grupėje, lyginant su vieno daviklio grupe. Per pirmąsias 7 minutes, keturių daviklių grupėje vidutinis temperatūros padidėjimas buvo 0,37 °C didesnis nei vieno daviklio grupėje. Lyginant visos terapijos laiką, keturių daviklių grupėje vidutinis temperatūros padidėjimas buvo 0,5 °C didesnis nei vieno daviklio grupėje. Šis skirtumas tarp grupių parodo keturių daviklių terapinį pranašumą prieš vieno daviklio terapiją.

Plaštakos suspaudimo jėga neparodė statistiškai reikšmingų rezultatų visose tiriamųjų grupėse, nors buvo tikėtasi suspaudimo jėgos padidėjimo. Gali būti, jog suspaudimo jėgos rezultatas pagerėtų terapiją atliekant periodiškai, po ilgesnio laiko tarpo. Šio tyrimo metu buvo matuojamas suspaudimo jėgos padidėjimas po vienos terapijos, todėl buvo įrodyta, jog momentinio suspaudimo jėgos padidėjimo nebuvo. Literatūros analizės metu, suspaudimo jėgos pagerėjimas buvo aprašytas tyrime, kuriame terapija buvo vykdoma periodiškai [23]. Taip pat buvo nustatyta, jog maksimaliai suspaudus dinamometrą pirmą kartą, antras suspaudimas būna silpnesnis, todėl tęsiant tyrimą, reikėtų suspaudimo jėgą matuoti tik vieną kartą ir suspaudimo jėgą lyginti ne *prieš* ir *po* terapijos, bet suspaudimo jėgą *prieš* pradėdant terapijos kasdieninį ciklą ir *po* terapijos ciklo. Tokia metodika leidžia atskleisti ilgalaikės terapijos poveikį, kuris, galimai, parodytų plaštakos suspaudimo jėgos pokytį. Suspaudimo jėga neturėtų keistis sveikų žmonių tiriamųjų grupėje, nes suspaudimo jėga priklausytų daugiausia nuo rankos raumenų treniruotumo, o ne sąnarių skausmo sumažėjimo ir lankstumo padidėjimo.

Riešo lankstumo statistiškai reikšmingas pagerėjimas buvo pastebėtas, kaip ir tikėtasi, visose, išskyrus *placebo*, grupėse. Didžiausias riešo lankstumo pokytis buvo fiksuotas keturių daviklių grupėje su sergančiais pacientais. Šios grupės riešo lankstumai buvo prasčiausi ir po terapijos tokie pat ir išliko lyginant su kitomis grupėmis, nors jų pagerėjimas buvo fiksuotas didžiausias. Tai parodo keturių daviklių terapijos teigiama poveikį. Šios grupės pagerėję abdukcijos ir adukcijos lankstumo rezultatai pasiekė sveikų žmonių riešo lankstumo vidurkį, tačiau fleksija ir ekstenzija šio vidurkio nepasiekė. Keturių daviklių ir vieno daviklio terapijos poveikį tiksliau galima palyginti sveikų žmonių grupėse, nes su vienu davikliu terapija nebuvo atliekama su pacientais. Sveikųjų grupėse didesnę riešo lankstumą pasiekė keturių daviklių grupė, vidutiniškai pagerinus 10,17 % riešo lankstumą, kai vieno daviklio grupėje vidutinis pagerėjimas buvo 5,87 %. *Placebo* grupėje riešo lankstumo pagerėjimo nebuvo. *Placebo* grupėje dalyvavo tie patys žmonės kaip ir vieno daviklio grupėje, kurioje teigiamas

riešo lankstumo pokytis buvo užfiksuotas, galima teigti, jog vieno daviklio terapija turi teigiamą poveikį riešo lankstumui sveikiems žmonėms. Kitame tyrimo etape galima vertinti ilgalaikį riešo lankstumo pokytį, kuris parodytų ar yra teigiamas efektas terapiją atliekant periodiškai.

Užregistruotas subjektyvus pacientų riešo skausmo vertinimas *prieš* ir *po* terapijos taip pat sumažėjo per 0,74 balo. Šis įvertis leidžia teigti, jog ultragarsinio bei šiluminio tyrimo poveikis jaučiasi patiems pacientams ir leidžia sumažinti ligos keliamą diskomfortą. Taikant terapiją ilgesnį laikotarpį galima tikėtis geresnio rezultato, didesnio skausmo sumažėjimo [29].

Išvados

1. Temperatūros registravimas tyrimo metu parodo kraujotakos aktyvumą plaštakoje. Skausmo įvertinimas ir riešo lankstumo matavimas *prieš* ir *po* terapijos parodo realų terapijos efektą. Tinkami tyrimo parametrai ir nustatyta tyrimo eiga yra svarbi siekiant tiksliai įvertinti ultragarsinės ir šiluminės terapijos poveikį ir sumažinti aplinkos įtaka rezultatams.
2. Buvo sukurtas termovizinių nuotraukų apdorojimo algoritmas, kuris termovizinėje nuotraukoje atpažįsta plaštakos kontūrą ir iš pasirinktų plaštakos taškų išskiria reikšmes. Algoritmas savo tikslumu prilygsta oficialiai įrangos gamintojų programiniai įrangai (2 lentelė) ir automatiškai analizuoja termovizines nuotraukas, ko oficiali programinė įranga padaryti negali.
3. Keturių daviklių „bėgančios bangos“ ultragarsinės ir šiluminės terapijos poveikis buvo geresnis nei vieno daviklio universalaus prietaiso, lyginant riešo lankstumą (keturių daviklių vidutinis riešo lankstumo padidėjimas: 10,17 %, vieno daviklio vidutinis riešo lankstumo padidėjimas: 5,87 %) bei temperatūrinį pokytį (vieno daviklio vidutinis temperatūrinis padidėjimas: 1,46 %, keturių davikliu vidutinis temperatūrinis padidėjimas: 1,96 %).

Literatūros sąrašas

1. Statistics by Country for Rheumatoid arthritis. [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: http://www.rightdiagnosis.com/r/rheumatoid_arthritis/stats-country.htm
2. World Scleroderma Foundation [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: <http://worldsclerofound.org/what-is-ss/>
3. Scleroderma foundation [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: http://www.scleroderma.org/site/PageNavigator/patients_what.html#.WU-ecun-vcs
4. Uhlemann, C., et al. „Multiple daily ultrasound treatment of patients with progressive systemic scleroderma." *Dermatologische Monatschrift* 176.5-6 (1990): 323-326.
5. Sandqvist Gunnel, Anita Åkesson, and Mona Eklund. „Evaluation of paraffin bath treatment in patients with systemic sclerosis." *Disability and rehabilitation* 26.16 (2004): 981-987.
6. William C. Shiel Jr., MD, FACP, FACR, Rheumatoid Arthritis [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: http://www.medicinenet.com/rheumatoid_arthritis/article.htm
7. Benjamin Z Phillips, MD, MPH. „Wrist Joint Anatomy“ [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: <http://emedicine.medscape.com/article/1899456-overview#a1>
8. Jonathan FitzGordon, „The Wrist And Carpal Tunnel“ [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: <https://corewalking.com/wrist-carpal-tunnel/>
9. Leslie Vandever, „Rheumatoid Arthritis by the Numbers“ [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: <http://www.healthline.com/health/rheumatoid-arthritis/facts-statistics-infographic>
10. Casimiro L, Brosseau L, Welch V, Milne S, Judd M, Wells GA, Tugwell P, Shea B. Therapeutic ultrasound for the treatment of rheumatoid arthritis. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2002, Issue 3. Art. No.: CD003787.
11. Buljina, A. I., Taljanovic, M. S., Avdic, D. M. and Hunter, T. B. (2001), Physical and exercise therapy for treatment of the rheumatoid hand. *Arthritis & Rheumatism*, 45: 392-397
12. Johns, Lennart D. „Nonthermal effects of therapeutic ultrasound: the frequency resonance hypothesis." *Journal of athletic training* 37.3 (2002): 293.
13. Ultrasound therapy [žiūrėta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: <http://www.electrotherapy.org/modality/ultrasound-therapy>
14. Hashish, I., Harvey, W. and Harris, M., 1986. Anti-inflammatory effects of ultrasound therapy: evidence for a major placebo effect. *Rheumatology*, 25(1), pp.77-81.
15. McBrier, Nicole M., et al. „Therapeutic ultrasound decreases mechano-growth factor messenger ribonucleic acid expression after muscle contusion injury." *Archives of physical medicine and rehabilitation* 88.7 (2007): 936-940.
16. Matheus, J. P. C., et al. „Effects of therapeutic ultrasound on the mechanical properties of skeletal muscles after contusion." *Brazilian Journal of Physical Therapy* 12.3 (2008): 241-247.
17. Hendrickx, A. G. „Hematologic and growth-related effects of frequent prenatal ultrasound exposure in the long-tailed macaque (*macaca fascicularis*)." (1995).
18. Shankar, Hariharan, and Paul S. Pagel. „Potential Adverse Ultrasound-related Biological EffectsA Critical Review." *The Journal of the American Society of Anesthesiologists* 115.5 (2011): 1109-1124.
19. Karagoz, Irfan, and Mustafa K. Kartal. „A new safety parameter for diagnostic ultrasound thermal bioeffects: safe use time." *The Journal of the Acoustical Society of America* 125.6 (2009): 3601-3610.
20. O'Brien, William D. „Ultrasound–biophysics mechanisms." *Progress in biophysics and molecular biology* 93.1 (2007): 212-255.

21. Nadler, Scott F., Kurt Weingand, and Roger J. Kruse. „The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner." *Pain physician* 7.3 (2004): 395-400.
22. Erasala GN, Rubin JM, Tuthill TA et al. The effect of topical heat treatment on trapezius muscle blood flow using power Doppler ultrasound. *Physical Therapy* 2001; 81:A5
23. Michlovitz, Susan, et al. „Continuous low-level heat wrap therapy is effective for treating wrist pain." *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 85.9 (2004): 1409-1416.
24. Kondo, Yasutaka, et al. „Effects of prolonged stretching and thermotherapy on muscle contracture of immobilized rat soleus muscle." *Journal of physical therapy science* 24.6 (2012): 541-547.
25. Physical Therapy Management Of Colles Fracture. [žiūrēta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: <http://morphopedics.wikidot.com/physical-therapy-management-of-colles-fracture>
26. Frize, Monique, et al. „Detection of rheumatoid arthritis using infrared imaging." *Medical Imaging 2011: Image Processing*. Vol. 7962. International Society for Optics and Photonics, 2011.
27. Duarte, A., et al. „Segmentation algorithms for thermal images." *Procedia Technology* 16 (2014): 1560-1569.
28. Handgrip Strength Norms [žiūrēta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: <http://www.topendsports.com/testing/norms/handgrip.htm>
29. Durmuş, Dilek, et al. „Effects of therapeutic ultrasound on pain, disability, walking performance, quality of life, and depression in patients with chronic low back pain: A randomized, placebo controlled trial." *Archives of Rheumatology* 25.2 (2010): 082-087.
30. Adahan, Haim Moshe, Hanania Sharon, and Itzhak Siev-Ner. „A Sound Solution to Tendonitis: Healing Tendon Tears With a Novel Low-Intensity, Low-Frequency Surface Acoustic Ultrasound Patch." *PM&R* 2.7 (2010): 685-687.
31. Sustained Acoustic Medicine (sam®) [žiūrēta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: www.zetroz.com
32. PainShield® by NanoVibronix [žiūrēta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: www.nanovibronix.com
33. UltraCure PRO Plus 1Mhz Portable Home Ultrasound Therapy Machine [žiūrēta 2019-04-12]. Prieiga per internetą: www.ezultrasound.com/product/ultracure-pro-plus-1mhz-portable-home-ultrasound-therapy-machine

Priedai

1 priedas. Bioetikos leidimas



LIETUVOS SVEIKATOS MOKSLŲ UNIVERSITETAS

BIOETIKOS CENTRAS

Kodas 302536989, Tilžės g. 18, LT- 47181, Kaunas, tel.: (8 37) 327233, www.lsmuni.lt, el.p.: sochumkatedra@lsmuni.lt

LSMU ligoninės Kauno klinikos
REUMATOLOGIJOS KLINIKA
Gydytojai-rezidentei
Paulinai Jolantai Žilinskaitei

2017-09-22

Nr. *BEC-LSMU(R)-04*

KTU Elektros ir elektronikos fakultetas
II k. magistr. Andriui Romualdai Juknevičiui

KTU Mechatronikos institutas
Dr. Mantui Venslauskui

DĖL PRITARIMO TYRIMUI

LSMU Bioetikos centras, įvertinęs LSMU ligoninės Kauno klinikos Reumatologijos klinikos gydytojos-rezidentės Paulinos Jolantos Žilinskaitės, KTU Elektros ir elektronikos fakulteto II k. magistr. Andriaus Romualdo Juknevičiaus ir KTU Mechatronikos instituto dr. Manto Venslausko (mokslinio darbo vadovė: prof. Asta Baranauskaitė, LSMUL KK Reumatologijos klinika) mokslinio-tiriamojo darbo temos: „Lokali ultragarsinė terapijos poveikis pacientams, sergantiems reumatine liga, su išreikštu plaštakų sąnarių ir riešo artritu, artralgija, Reino s.“ tiriamojo darbo anotaciją, tiriamojo asmens informavimo formą, tiriamojo asmens informuoto sutikimo formą ir anketas, kurios leidžia spręsti, jog planuojamame tyrime neturėtų būti pažeistos tiriamojo teisės, todėl šiam tyrimui pritariama.

Bioetikos centro vadovas

dr. Elmantas Pečiūnas

2 priedas. Mokslinės publikacijos darbo tema

Straipsniai

Juknevičius AR, Venslauskas M, Žilinskaitė PJ, Litvinas E, Bubulis A, Baranauskaitė A. Analysis of high frequency vibrations and heat impact on human hands. *Vibroengineering PROCEDIA*. 2017 Dec 1;15:77-80.

Dalyvavimas konferencijoje

29th International Conference on VIBROENGINEERING

1st of December, 2017 in Vilnius, Lithuania



JVE International Conference on Vibroengineering
Vilnius, Lithuania, 1st December, 2017

CERTIFICATE

This is to certify that

Andrius Romualdas Juknevičius

did read the Conference Paper entitled

**“Analysis of high frequency vibrations and
heat impact on human hands”**

at the 29-th International Conference on
VIBROENGINEERING held in
Vilnius, Lithuania

Chairmen of the Conference

Prof. Chen Lu

Prof. Minvydas Ragulskis

www.jveconferences.com

www.jvejournals.com

4 priedas. Patento išdavimo prašymas

PATVIRTINTA
Valstybinio patentų biuro direktoriaus
1994 m. gegužės 2 d. įsakymu Nr. 11 (Valstybinio patentų biuro
direktoriaus 2011 m. gruodžio 1 d. įsakymo Nr. 3R-63 redakcija)

IP-1/2011 forma

**LIETUVOS RESPUBLIKOS
VALSTYBINIAM PATENTŲ BIURUI**
Kalvarijų g. 3, LT-09310 Vilnius

**PRAŠYMAS
IŠDUOTI PATENTĄ**

22	Paraiškos padavimo data	*
		2018-01-24
21	Paraiškos numeris	*
		2018 005
11	Patento numeris	*

* Užpildo Valstybinis patentų biuras

Pareiškėjo žyma „Fidens“

**

** Čia gali būti nurodytas šiam prašymui suteiktas numeris

71	Pareiškėjas: pavadinimas arba vardas ir pavardė, adresas (buveinė), valstybės kodas; jeigu pareiškėjas yra Lietuvos Respublikos pilietis ar Lietuvos Respublikoje registruotas juridinis asmuo – fizinio ar juridinio asmens kodas; telefonas, faksas, el. paštas MB „Fidens“ Imonės kodas 303420973 Maironio g. 6-1, Kaunas, LT- 44302	74	Atstovas: vardas ir pavardė, asmens kodas arba patentinio patikėtinio Nr./juridinio asmens pavadinimas, registracijos kodas; adresas (buveinė), valstybės kodas, telefonas, faksas, el. paštas <i>Adresas (buveinė) (patentinio patikėtinio Nr.) Maironio g. 6-1, Kaunas, LT-44302 LT-44302 El. p. vaskovskas@gmail.com</i>			
Susirašinėjimo Lietuvos Respublikoje adresas, telefonas, faksas, el. paštas (kai pareiškėjo ir (arba) atstovo adresas (buveinė) nėra Lietuvos Respublikos teritorijoje)						
54	Išradimo pavadinimas Ultragarsinis terapijos įrenginys					
31	32	33	86	Anksčiau paduotos paraiškos numeris, data, valstybės kodas	51	Tarptautinės patentų klasifikacijos indeksai
						A 61 N 7/00
72	Išradėjo vardas, pavardė, adresas, valstybės kodas, jeigu išradėjas yra Lietuvos Respublikos pilietis – asmens kodas <i>Algimantas Mikutėlis, a.k. 34701010000, gyv. šaltavilų kalnas 40, Kaunas, LT- 52177 Mantas Vaskovskas a.k. 38510171155, Mollonų g. 90-1, Ireniškių kalnas, Čekiškos sm., Kaunas r., LT-48270 Andrius Romualdas Juknevičius, a.k. 39303093943, A. Šturmio al. 47a-79, Kaunas, LT- 45315 Edvinas Lėvinskas, a.k. 39619022872, Morkūnų g. 48, Šedos sm., Kaunas r., LT- 48270 Edgaras Šturmavičius, a.k. 37211278289, Lygųjų g. 48, Kaunas, LT-48270</i>					

1. Prašymas paduodamas 3 egzemplioriais.

2. Šis dokumentas su Valstybinio patentų biuro užpildytais rekvizitais yra paraiškos priėmimo pažyma.

Paraiškų priėmimo ir
dokumentų valdymo
skyrius

vedėja

(pareigos)

(parašas)

Vida Mikutienė

(vardas ir pavardė)

2018-01-25

(data)