



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Skirmantas Stanaitis

**VIRTUALIOS REALYBĖS ĮRANGA PAGRĮSTI TESTAI
ŽMOGAUS PERIFERINEI VESTIBULINEI SISTEMAI TIRTI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Vaidotas Marozas

KAUNAS, 2016

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**VIRTUALIOS REALYBĖS ĮRANGA PAGRĮSTI TESTAI
ŽMOGAUS PERIFERINEI VESTIBULINEI SISTEMAI TIRTI**

Baigiamasis magistro projektas
Biomedicininė inžinerija (621H16001)

Vadovas

(parašas) Vaidotas Marozas
(data)

Recenzentas

(parašas) Andrius Sakalauskas
(data)

Projektą atliko

(parašas) Skirmantas Stanaitis
(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

Skirmantas Stanaitis

(Studento vardas, pavardė)

Biomedicininė inžinerija (621H16001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto “Virtualios realybės įranga pagrįsti testai žmogaus periferinei vestibulinei sistemai tirti”

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano Skirmanto Stanaičio baigiamasis projektas tema „ Virtualios realybės įranga pagrįstas metodas periferinei vestibulinei sistemai tirti “ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Stanaitis, Skirmantas. Virtualios realybės įranga pagrįsti testai žmogaus periferinei vestibulinei sistemai tirti. Biomedicinos inžinerijos magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Vaidotas Marozas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Biomedicininė inžinerija

Reikšminiai žodžiai: Oculus Rift, subjektyvi vertikalė, galvos pokrypio testas.

Kaunas, 2016. 43 p.

SANTRAUKA

Darbe pristatyta virtualia realybe paremta sistema periferinei vestibulinei funkcijai tirti. Sistema susidaro iš 4 dalių: nebrangių virtualios realybės akinių, nešiojamo kompiuterio, pultelio testams valdyti ir sukurtos programinės įrangos. Sukurtos dvi testų grupės: subjektyvios vertikalės testai ir galvos pokrypio testas. Virtuali realybė į testus leido įvesti trimačius trikdžius. Sukurtos sistemos efektyvumo tyrime dalyvavo 36 tiriamieji su sveika vestibuline sistema ir 16 tiriamųjų kuriems nustatyti vestibulinės funkcijos sutrikimai, visiems tiriamiesiems buvo atlikti nauji testai, prieš tai juos patikrinus atraminiais metodais. Eksperimento rezultatai rodo, kad sistema geba atvaizduoti reikiamus vizualinius stimulus ir pakankamai tiksliai išmatuoti nuokrypius nuo tikrosios gravitacinės vertikalės periferinei vestibulinei funkcijai tirti.

Stanaitis, Skirmantas. Virtual Reality Based Tests for Screening of Human Peripheral Vestibular System: Final project of Biomedical Engineering master degree / supervisor assoc. prof.

Vaidotas Marozas. The Faculty Electricity and Electronics, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Sciences, Biomedical Engineering

Key words: Head-Mounted Display, Oculus Rift, Subjective Vertical Test, Head Tilt Test.

Kaunas, 2016. 43 p.

SUMMARY

A prototype of virtual reality based system for investigation of peripheral vestibular function was presented. The system uses low cost head-mounted display (HMD) Oculus Rift 1 with built-in head orientation tracker and custom developed software. There were two virtual reality based tests implemented for investigation of peripheral vestibular function: subjective visual vertical and head tilt. HMD allowed to extend the tests by inclusion of dynamic 3D type disturbances. 36 normal subjects and 16 subjects with suspected vestibular dysfunction participated in the pilot study and were screened by using the proposed and reference methods. The experimental results suggest that virtual reality system Oculus Rift is able to generate the required visual stimuli and measure orientation parameters during subjective vertical tests.

Turinys

ĮVADAS.....	8
1 MOKSLINĖS IR PATENTINĖS LITERATŪROS KRITINĖ ANALIZĖ	9
1.1 Periferinės vestibulinės sistemos anatomija ir fiziologija	9
1.1.1 Periferinis sensorinis aparatas	9
1.1.2 Dažniausios periferinės vestibulinės sistemos patologijos	11
1.2 Periferinės vestibulinės sistemos klinikinių tyrimo metodų apžvalga	11
1.2.1 Videonistagmografija	11
1.2.2 Posturografija	12
1.2.3 Subjektyvios vertikalės testas.....	13
1.2.4 Dinaminio regos aštrumo testas.....	14
1.3 Nauji periferinės vestibulinės sistemos vertinimo metodai.....	14
1.3.1 Naujas metodas nustatyti subjektyvią vertikalę pacientams su abipuse vestibuline disfunkcija	14
1.3.2 Galvos pakreipimo atsakas	15
1.3.3 Virtuali parduotuvė.....	16
1.3.4 Virtuali realybė ir posturografija	17
1.3.5 Virtualios realybės taikymai vestibulinės funkcijos reabilitacijai	17
2 VIRTUALIOS REALYBĖS ĮRANGA PAGRĮSTŲ PERIFERINĖS VESTIBULINĖS SISTEMOS TYRIMO TESTŲ KONCEPCIJOS.....	19
2.1 Įranga.....	19
2.1.1 Programinė įranga	19
2.1.2 VR akiniai.....	19
2.1.3 Kompiuteris	20
2.1.4 Manipulatorius.	20
2.2 Statinis ir dinaminis subjektyvios vertikalės testai	21
2.2.1 Statinis subjektyvios vertikalės testas.	21
2.2.2 Dinaminiai subjektyvios vertikalės testai.	22
2.2.3 Testų rezultatų kiekybinio įvertinimo metodika.....	23
2.3 Galvos pokrypio testas	23
2.4 Mediko programa.	24
2.5 Atraminiai periferinės vestibulinės sistemos tyrimo testai	25
2.5.1 „Kibirėlio“ metodas.....	25
2.5.2 cVEMP metodas.....	25
2.5.3 Kalorinis biterminis videonistagmografijos metodas	26
3 REZULTATAI	29
3.1 Tiriamieji ir tyrimo protokolas	29
3.2 Atraminų testų rezultatai sveikiems tiriamiesiems.	29

3.2.1	„Kibirėlio“ testo rezultatai.....	29
3.2.2	cVEMP testo rezultatai.....	30
3.2.3	Kalorinės videonistagmografijos testo rezultatai.	32
3.2.4	Virtualios realybės testų rezultatai	34
3.3	Pacientų su periferinės vestibulinės sistemos patologija tyrimo rezultatai.....	36
3.3.1	Virtualios realybės testų rezultatai.	37
4	IŠVADOS.....	39
5	GALIMOS ATEITIES TYRIMŲ KRYPTYS	40
5.1	Įranga.....	40
5.2	Testai	41
6	LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	42
7	PRIEDAI	45
7.1	Priedas A Sukurtos programinės įrangos	45
7.2	Priedas B Sveikų tiriamųjų virtualios realybės testų rezultatai.....	46

IVADAS

Erdvinė orientacija žemės gravitacijos ašies atžvilgiu yra labai svarbi daugeliui žmogaus motorinių funkcijų pvz. teisingai laikysenai išlaikyti. Tam, kad žmogus padidintų tikslumą nustatant gravitacinę vertikale, jis apdoroja ir sulieja informaciją iš kelių jutiminių šaltinių: vizualinio, vestibulinio ir proprioreceptinio.

Vestibulinei sistemai tirti sukurta daug testų. Vienas iš jų tiria vizualios ir vestibulinės informacijos svarbą vertikalumo suvokime, jo pavadinimas „subjektyvios vertikalės testas“. Subjektyvios vertikalės testas įvertina vizualinės ir vestibulinės – otolitinės informacijos patikimumą. Dažniausiai šis testas atliekamas paprastais metodais pvz. sukiojant liniją tamsiame kambaryje, nors galima naudoti sudėtingesnius metodus, kurie kuria vizualinius stimulus kompiuterio ekrane. Pastaraisiais metais virtualios realybės technologijoms vystantis ir tampant prieinamoms kiekvienam žmogui, nebrangiai galima įsigyti virtualios realybės akinius (*Oculus VR, LLC, Irvine, CA*) ir *Samsung Gear VR*. Virtualios realybės sistemos leidžia kurti tikroviškus ir plačiaekranus 3D vaizdus, ir sekti galvos padėtį testo metu vidinio inercijos matavimo sensoriumi. Nors visi išvardinti produktai sukurti žaidimų industrijai, mokslininkai vis giliau ir giliau tyrinėja virtualios realybės panaudojimą medicininiais tikslams.

Darbo tikslas yra ištirti ar galima sukurti pigų ir efektyvų virtualia realybe paremtą metodą periferinei vestibulinei funkcijai tirti, greitai, patikimai, pastoviai jos stebėsenai.

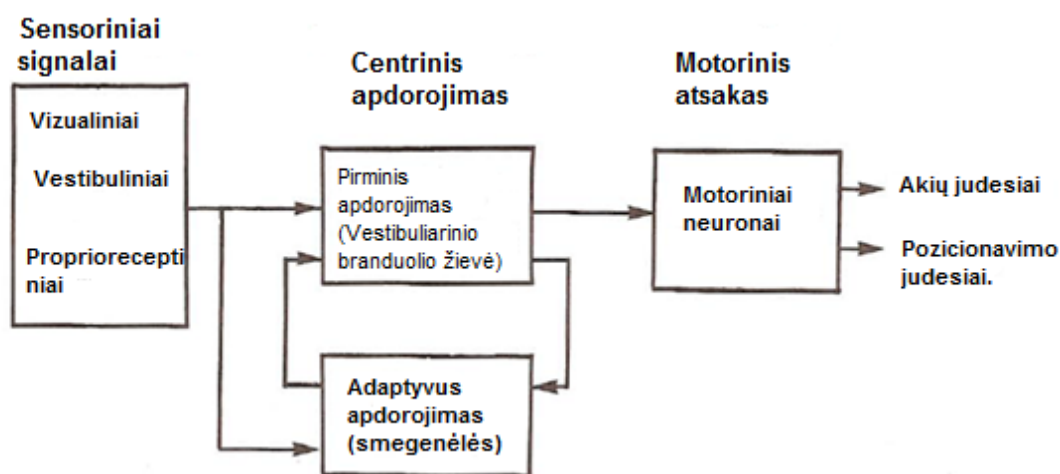
Darbo uždaviniai:

1. Sukurti virtualia realybe paremtą metodą periferinei vestibulinei funkcijai tirti.
2. Sukurtą metodą išbandyti su sveikų savanorių grupe.
3. Sukurtą metodą išbandyti su savanoriais kuriems nustatyta vestibulinė disfunkcija.
4. Įvertinti ar remiantis sukurtos sistemos duomenimis galima nustatyti vestibulinį sutrikimą.

1 MOKSLINĖS IR PATENTINĖS LITERATŪROS KRITINĖ ANALIZĖ

1.1 Periferinės vestibulinės sistemos anatomija ir fiziologija

Žmogaus vestibulinė sistema yra sudaryta iš trijų komponentų: periferinio sensorinio aparato, centrinio apdorojimo mechanizmo ir motorinių judesių mechanizmo (1 pav.). Periferinis aparatas yra sudarytas iš judesio jutiklių kurie siunčia informaciją į centrinę nervų sistemą apie galvos kampinį greitį bei linijinį pagreitį. Centrinė nervų sistema apdoroja duomenis (signalus) ir sujungia juos su kita sensorine informacija nustatydamą galvos ir kūno orientaciją. Ši informacija reikalinga 3 svarbiems refleksams: vestibulookuliariniam (VOR), vestibulokoliniam (VCR) ir vestibulospinaliam (VSR). VOR lemia akių judesius, kurie leidžia aiškiai matyti judant galvai. VCR stabilizuoja galvą kaklo raumenimis.



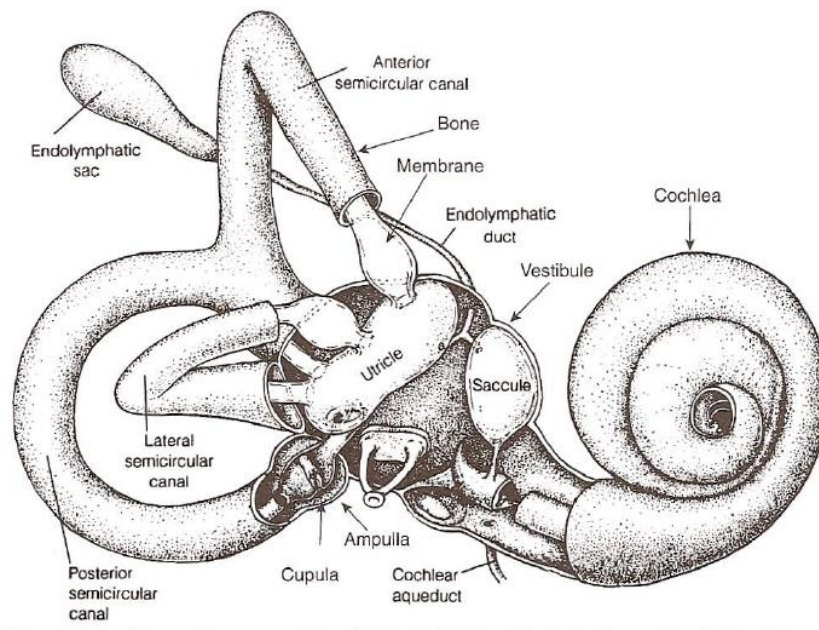
1 pav. Vestibulinės sistemos elementų sąveiką iliustruojanti diagrama [1]

VSR atsako už kompensacinius kūno judesius padedančius išlaikyti galvos ir kūno stabilumą. Refleksų veikla yra prižiūrima centrinės nervų sistemos ir esant sutrikimams yra koreguojama. Svarbu suprasti, kad orientavimasis erdvėje yra kritinė funkcija ir yra daug vidinių saugos mechanizmų, kurie leidžia atstatyti ar prisitaikyti prie pažeistų funkcijų. Vestibulinė funkcija nėra apibrėžta vieno sensorinio organo, todėl dirgindami kitus jutimus galime nustatyti vestibulinio aparato sutrikimus.

1.1.1 Periferinis sensorinis aparatas

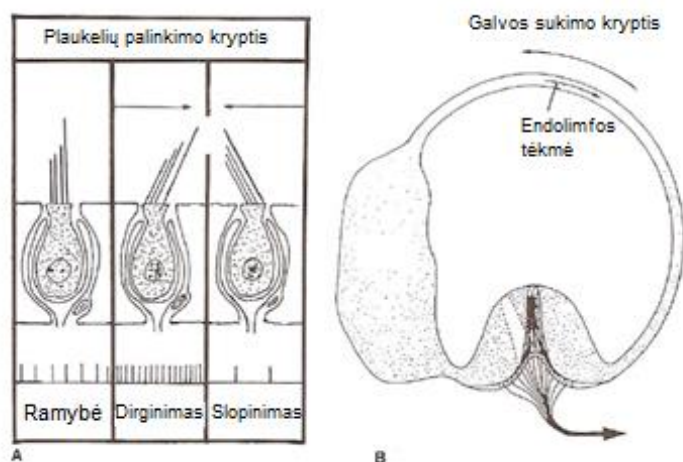
Paveikslas 2 pav. vaizduoja periferinę vestibulinę sistemą, kuri yra sudaryta iš kaulėtojo ir membraninio labirintų. Kaulėtąjį labirintą sudaro trys pusratiniai kanalai. Sraigės ir centrinės kameros vadinamos vestibulu. Labirintas užpildytas perilimfiniu skysčiu.

Membraninis labirintas yra kaulėtajame labirinte ir savo pastovią orientaciją išlaiko skysčio bei atraminių audinių pagalba. Jį sudaro penki sensoriniai organai: membraninės kanalų dalys ir 2 otolitiniai organai *urticle* ir *saccule*. Labirintai užpildyti endolimfiniu skysčiu.



2 pav. kaulinis ir membraninis labirintai [1]

Pusratiniai kanalai ir otolitiniai organai yra iškloti plaukeliais, kurių dirginimas lemia nervinių impulsų dažnį. Plaukeliai konvertuoja mechaninę galvos judesių energiją į nervinius impulsus pasiekiančius specifines smegenų vietas. Pagal plaukelių orientaciją kanalai ir otolitiniai organai selektyviai apibūdina galvos judesius tam tikromis kryptimis: pagal skysčių mechanikos skirtumus kanalai apibūdina kampinį greitį, o otolitiniai organai linijinį pagreitį. (pav. **Klaida! Nerastas nuorodos šaltinis.**)



3 pav. Galvos sukimo padariniai kanaluose, (A) nervinių impulsų priklausomybė nuo plaukelių pasvirimo, (B) membraninio labirinto skerspjūvis iliustruojantis endolimfinio skysčio tėkmę judinant galvą [1]

1.1.2 Dažniausios periferinės vestibulinės sistemos patologijos

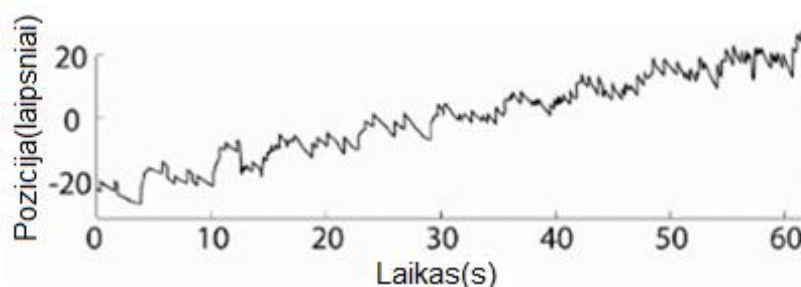
Vestibuliarinio aparato sutrikimai įtariami, kai pacientas skundžiasi galvos svaigimu, sutrikusiu gebėjimu susikaupti, pusiausvyros sutrikimais. Dažniausios ligos ir patologijos susijusios su vestibuliariniu aparatu yra šios:

- Gerybinis paroksizminis pozicinis galvos svaigimas (vertigo) - dažniausiai pasitaikanti galvos svaigimo forma. Atsiranda dėl vidurinėje ausyje susidariusių otolitinių kristalų dirginančių vidinį jos sluoksnį ir taip sukeliančių galvos svaigimą. Simptomai: galvos svaigulys keičiant galvos padėtį. Diagnozuojamas mėginiu. Gydomo nereikia, praeina savaime per tam tikrą laiko tarpą.
- Labirintitas – vidinės ausies uždegimas, dažniausiai sukeliamas virusų. Serga 40-60 metų žmonės nors kartais serga ir vaikai. Simptomai: pusiausvyros, regos, klausos sutrikimai, pykinimas. Praeina savaime per kelias savaites.
- Menjero liga – vidinės ausies skysčių judėjimo sutrikimas. Prastai šalinant skystį jis kaupiasi labirinte ir jam plyšus prasideda svaigimo priepuolis. Simptomai: epizodinis galvos svaigimas su pykinimu, vėmimu. Gydoma vaistais priepuolių metu, bandoma išvengti priepuolių operacijomis ir dieta.
- Vestibulinis neuritas – stiprus staigiai atsiradęs galvos svaigimas pasireiškiantis vienoje pusėje susilpnėjusia ar prarasta vestibuline funkcija. Praeina savaime.

1.2 Periferinės vestibulinės sistemos klinikinių tyrimo metodų apžvalga

1.2.1 Videonistagmografija

Videonistagmografija yra nevalingų akies judesių įrašymas ir analizė [4]. Pacientui patiriant nistagmą, sukeltą medikų įvairiais stimulais (galvos pasukimu, vaizdais, pilant skirtingų temperatūrų skysčius į ausis), sukeltas refleksas yra įrašomas kamera fiksuojančia akių judesius n. Atlikus vaizdo įrašo analizę iš akies judesių nustatoma, kurio vestibulinio aparato funkcija yra sutrikusi.

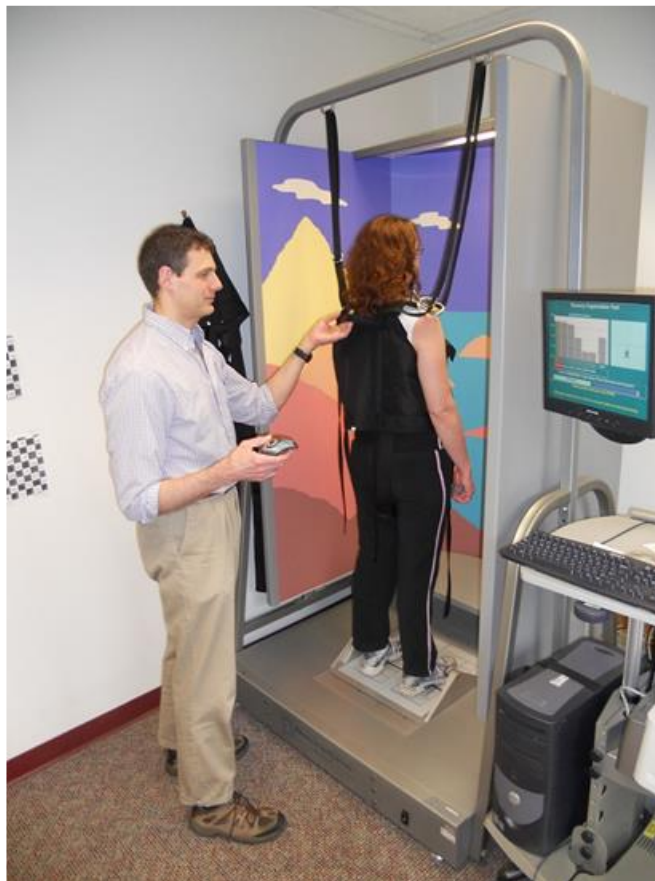


4 pav. Tipinis nistagmo įrašas paciento su kairės pusės vestibulinės funkcijos sutrikimu. Lėtųjų judesių greitis didėja kai pacientas žiūri į dešinę pusę (sveiką).

Metodas patikimas, dažnai naudojamas klinikinėje praktikoje, tačiau reikalauja daug laiko sąnaudų, atlikimui ir akies judesių analizei reikalingas apmokytas specialistas, metodu sunku nustatyti sutrikimo lygį, netinkamas nuolatinei paciento stebėsenai.

1.2.2 Posturografija

Metodas skirtas tirti paciento pusiausvyrai. Naudojama jėgos platforma (spaudimui jautri plokštė) ir kompiuteris analizuojantis platforma registruojamus signalus (5 pav.). Posturografija gali būti statinė ir dinaminė. Atliekant statinę posturografiją plokštė, ant kurios stovi tiriamasis, nejudinama. Vertinamas tik tiriamojo gebėjimas išlaikyti pusiausvyrą bei įvairūs pusiausvyros pataisymo judesiai. Atliekant dinaminę posturografiją platformos judesių pagalba arba tiriamojo kūno judinimu pacientas išvedamas iš pusiausvyros ir registruojamas jo gebėjimas atgauti pusiausvyrą.



5 pav. Posturografija[13].

Šiuo metodu galima tiksliai nustatyti įvairius pusiausvyros sutrikimus. Tačiau jis turi trūkumų. Tai kaina, menkas mobilumas, nors ir geba nustatyti pusiausvyros funkcijos sutrikimus, reikalingi papildomi tyrimai nustatyti tiksliai priežastiai [5].

1.2.3 Subjektyvios vertikalės testas

Subjektyvios vertikalės testo tikslas – nustatyti paciento vertikalumo suvokimo nuokrypį nuo tikrosios vertikalės, kurią lemia gravitacija.

Naudojant hemisferinio kupolo metodą pacientai pasodinami ir jų smakras padedamas ant atramos, taip užtikrinamas galvos stabilumas [3]. Kupolas turi atsitiktinai išdėstytus taškus, kurie gali būti sukami (6 pav.). Pacientas mato rodyklę, kurią taip pat galima sukti naudojant vairalazdę. Kupolas ir rodyklė atsitiktinai pasukami, o pacientui liepiama vairalazde liniją sugrąžinti į statmeną padėtį. Testas atliekamas 10 kartų, rezultatas – testų vidurkis.



6 pav. Hemisferinio kupolo metodas

Metodas patikimas ir tikslus, dažnai naudojamas eksperimentuose, tačiau nemobilus ir įranga brangi.

Vienas populiariausių metodų nustatyti periferinės vestibulinės sistemos sutrikimus yra „kibirėlio“ metodas [2]. Jis yra populiarus dėl savo paprastumo, efektyvumo, bei nedidelės kainos. Metodas vadinamas „kibirėlio“, nes naudoja kibiro formos prietaisą, kuris sudarytas iš cilindro ribojančio tiriamojo regos lauką. „Kibirėlio“ dugne nupiešiama rodyklė. Iš kitos cilindro dugno pusės priklijuojamas matlankis ir siūlas su svareliu. Prietaisas rodo 0 laipsnių kai rodyklė cilindro dugne yra statmena (7 pav.)



7 pav. „Kibirėlio“ metodas [2]

Atliekant testą tiriamojo prašoma nurodyti, į kuria pusę sukti cilindą ir sustabdyti sukimą kuomet jam linija atrodo statmena. Testas gali būti atliekamas žiūrint abejomis akimis arba po vieną. Metodas buvo sukurtas, kaip pigi alternatyva hemisferinio kupolo metodui, jis yra mobilus, paprastas, tačiau nėra tinkamas ilgalaikiai būklės stebėsenai[2].

1.2.4 Dinaminio regos aštrumo testas

Sutrikus vestibulinei funkcijai sutrinka ir vestibulookuliarinis refleksas stabilizuojantis akis judant galvai. Darant staigius galvos sukamuosius judesius akys pradeda nevalingai judėti. Šis metodas tiria regos aštrumo praradimą darant staigios galvos sukimo judesius.[12] Testas gali būti kompiuterizuotas arba ne. Paprastam testui naudojama Landolto žiedų lentelė, paciento prašoma staigiai pasukti galvą lentelės link ir apibūdinti nurodytus žiedus. Atliekant kompiuterizuotą testą Landolto žiedų lentelė rodoma tik tada, kai pasiekiamas nustatytas greitis, taip užtikrinant teisingą testo atlikimą.

Testas parodo jog egzistuoja vestibulinis sutrikimas. Jo stiprumą galima kvantuoti regos aštrumo praradimo stiprumu. Nekompiuterizuotą testą sudėtinga atlikti teisingai, nepastovus paciento galvos sukimo greitis, netinkamas rutininiams patikrinimams, netikslus.

1.3 Nauji periferinės vestibulinės sistemos vertinimo metodai

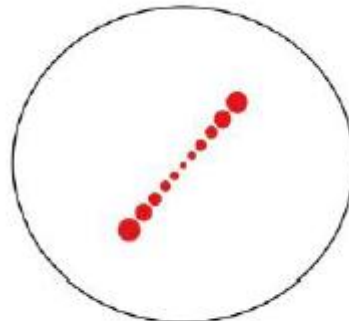
1.3.1 Naujas metodas nustatyti subjektyvią vertikale pacientams su abipuse vestibuline disfunkcija

Šis metodas yra panašus į „kibiro“ ir hemisferinio kupolo metodus, nes taip pat yra subjektyvios vertikalės testas. Testui buvo naudojamas nešiojamas kompiuteris, 30cm tamsus cilindras skirtas izoliuoti tiriamąjį nuo papildomų regos dirgiklių, kaklo įtvaras naudojamas sumažinti galvos judesiams. Žiūrint per cilindą tiriamasis mato liniją baltame fone sudarytą iš 7

apskritimų, jo užduotis– pakreipti liniją taip, kad ši taptų vertikali. Linijos pakreipimas valdomas pele, dešinys klavišas pasuka pagal laikrodžio rodyklę kairys prieš (8 pav.).



a)



b)

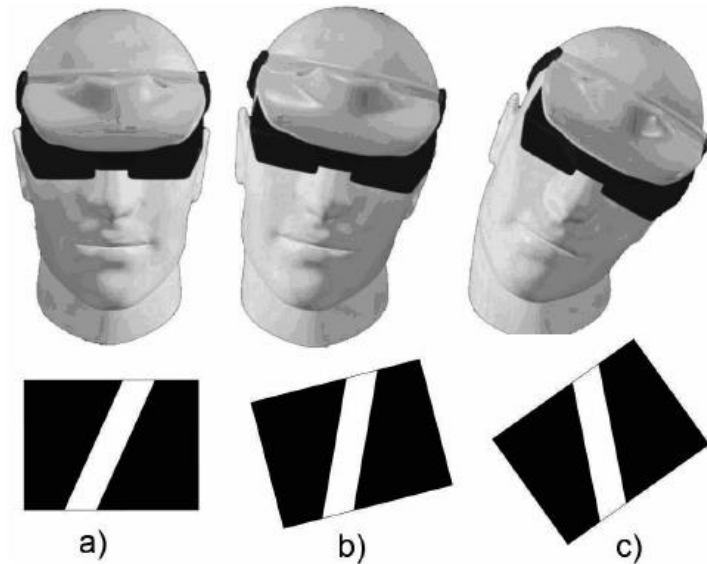
8 pav. Subjektyvios vertikalės testas [8]: testavimo įranga ir atlikimas (a), objektas, kurį mato tiriamoji (b)

Buvo tiriami 20 sveikų žmonių ir 20 su abipuse vestibuline disfunkcija. Buvo pastebėti didelis skirtumai tarp vidutinio subjektyvios vertikalės nuokrypio. Pažymėtina, kad grupė su vestibulinės funkcijos sutrikimu parodė daug didesnę rezultatų sklaidą.

Metodas paprastas, efektyvus, patikimas, pigus, galima atlikti tikslesnius matavimus nei „kibirėlio“ testas. Tačiau šis metodas yra nemobilus, ir nepatogus dėl įvairių įtvirtinimų [7].

1.3.2 Galvos pakreipimo atsakas

Tiriamajam stovint ant tvirto paviršiaus uždedami virtualios realybės akiniai su galvos orientacijos sekimo jutikliu. Šviesos ekranas užtikrina pašalinių regos stimulų slopinimą. Tiramajam rodoma balta juosta juodame fone. Tiramajo užduotis yra kuo greičiau galvos judesiais pakreipti juostą taip, kad ši būtų statmena, testo metu vaizdas keičiamas keletą kartų, kiekvieną kartą juostą pastačius statmenai tiriamasis turi likti toje pozicijoje iki tol kol atsiranda naujas vaizdas (9 pav.). Galvos pakreipimo atsakui charakterizuoti buvo naudojami 6 parametrai tačiau tik 2, ramybės būsenos paklaida ir galvos orientacijos keitimo trukmė, buvo susieti su vienpuse vestibuline disfunkcija. Ramybės būsenos paklaida – tai kampas tarp tiramajo pakreiptos juostos ir tikrosios vertikalės reikšmės. Galvos orientacijos keitimo trukmė yra laikas, per kurį tiriamasis pakreipia juostą 95% teisingos orientacijos link.

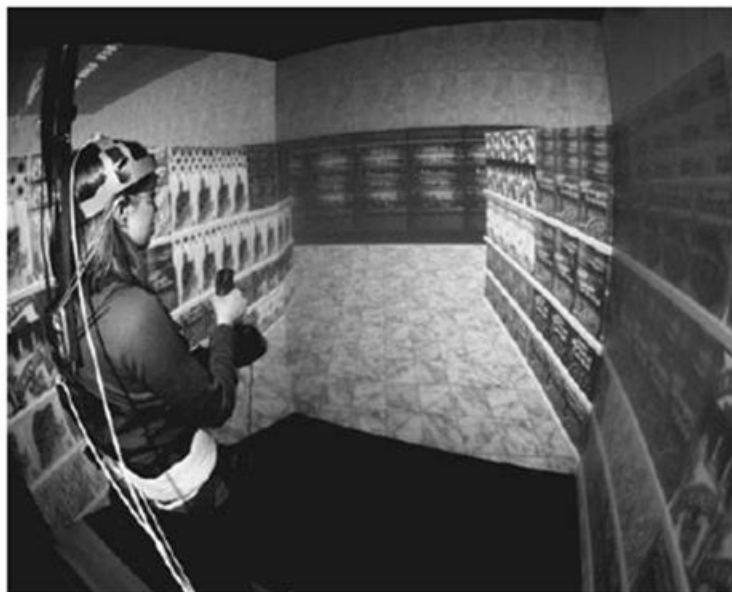


9 pav. a) pacientui parodoma balta juosta juodame fone. b) pacientas kreipdamas galvą pradeda lygiuoti juostą taip, kad ši būtų vertikali žemei, c) pacientas orientavo juostą statmenai pagal savo vertikalės suvokimą, tačiau juosta šiek tiek persukta [6]

Metodas inovatyvus, greitas, mobilus, tačiau eksperimento metu buvo tirtas labai mažas žmonių kiekis [6].

1.3.3 Virtuali parduotuvė

Šis metodas nėra diagnostinis. Tyrimu buvo mėginama nustatyti ar žmonės su vestibuline disfunkcija gali toleruoti sudėtingas virtualias aplinkas, jose pastebėti daiktus ir atlikti įvairius veiksmus, be sukeliama nemalonių pojūčių. Vaizdas buvo projektuojamas ant 3 sienų esančių prieš pacientą sudarant virtualios erdvės išpūdį, tiriamasis virtualioje aplinkoje veiksmus valdė vairalazde (10 pav.)[9].

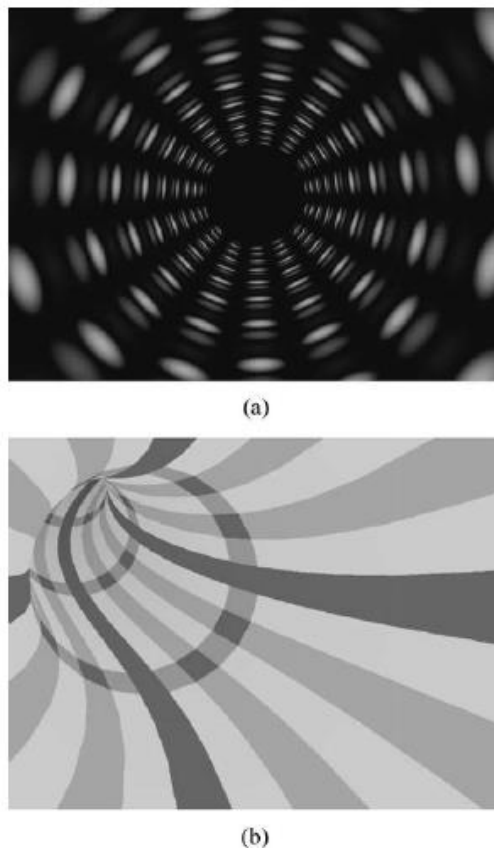


10 pav. Tiriamasis „vaikšto“ virtualioje parduotuvėje naudodamas vairalazdę [9]

Visi tiriamieji tiek su vestibuliniais sutrikimais, tiek be jų sėkmingai baigė visas eksperimento dalis be komplikacijų ir be nemalonių pojūčių. Tai rodo jog virtuali realybė gali būti naudojama tiek diagnostikai tiek reabilitacijai.

1.3.4 Virtuali realybė ir posturografija

Šis metodas posturografija papildo virtualios realybės aplinkomis, iškart dirginant regą ir pusiausvyrą. Metodas naudoja ankščiau aprašytą jėgos platformą ir virtualios realybės akinius. Keičiant dirgiklius užregistruoti signalai suteikia informacijos apie gebėjimą prisitaikyti prie aplinkos pasikeitimų, bei pusiausvyros mechanizmų hierarchiją testų metu. Buvo nustatyta, jog tiriamieji su vestibuline disfunkcija užsimerkę gali vaikščioti ir stovėti negriūdami, tačiau kai grindys yra minkštos ir nestabilios pradedama kristi. Metodas yra lankstus gali būti programuojamas daug skirtingų būdų (11 pav.).



11 pav. Regos stimulai naudojami posturografijoje a) besisukantis cilindras b) tunelis[11]

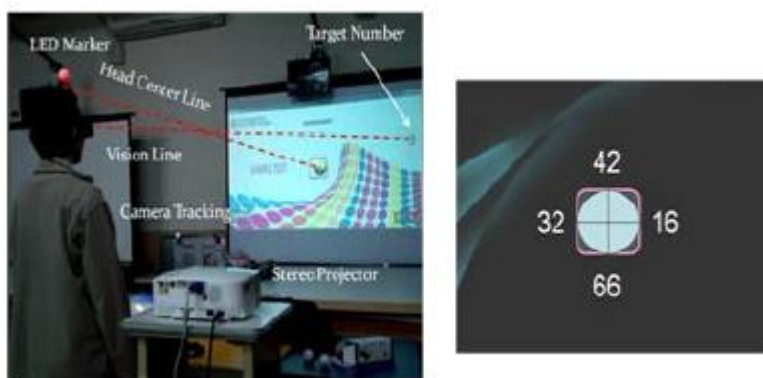
Metodas yra sudėtingas, sunkus ir brangus pagaminti, reikalauja specialistų laiko.

1.3.5 Virtualios realybės taikymai vestibulinės funkcijos reabilitacijai

Sistemą sudaro 4 skirtingi pratimai. Pratimai yra žaidimo pobūdžio, tai padeda įtraukti pacientus:

1. Galvos judinimo pratimas

Tiriamoji prašoma žiūrėti į fiksuotą tašką projekcijoje ir judinti galvą nurodytomis kryptimis neatitraukiant žvilgsnio nuo taško. Naudojamas daviklis galvos pakreipimo laipsniui nustatyti. Tam, kad įsitikintumėme ar tiriamasis mato tašką prašoma perskaityti prie jo esančius skaičius (12 pav.).



12 pav. Galvos judinimo pratimas [10]

2. Akių judinimo pratimas

Pacientas nejudindamas galvos, tik akis turi perskaityti ekrano kraštuose atsirandančius skaičius, jei galva sujudinama, tiriamasis įspėjamas.

3. Galūnių ir kūno tiesimo pratimas

Žaidžiamas virtualaus krepšinis, tiriamoji rankų pozicija sekama „Kinect“ sistemos, pacientas turi ištiesti rankas ir kūną iki tam tikros vietos tam, kad pataikytų metamus metimus. Naudojami 3d akiniai vaizdo gyliui sukurti.

4. Galūnių ir kūno koordinacijos pratimas.

Tiriamasis virtualioje aplinkoje turi išmesti virtualų kamuolį viena ranka ir pagauti kita. Vestibulinė funkcija buvo vertinama „Wii Fit“ pagalba. Metodu panašiu į statinę posturografiją. Eksperimente sistemos efektyvumui nustatyti dalyvavo 17 žmonių su vestibuliniais sutrikimais. Visi dalyviai demonstravo vestibulinės funkcijos pagerėjimą [10].

Sistema nors ir demonstruoja gerus rezultatus yra nepatogi, reikalaujanti daug aparatūros.

2 VIRTUALIOS REALYBĖS ĮRANGA PAGRĮSTŲ PERIFERINĖS VESTIBULINĖS SISTEMOS TYRIMO TESTŲ KONCEPCIJOS

2.1 Įranga

Tyrimo sistema yra sudaryta iš virtualios realybės akinių, manipulatoriaus ir personalinio



13 pav. Siūlomos sistemos schema[14].

kompiuterio.

2.1.1 Programinė įranga

Testai aprašyti skyriuose 2.2 ir 2.3 sukurti programiniu paketu Unity naudojant C# kalbos scenarijus, mediko programa sukurta C# kalba, naudojant „Windows Forms“ technologiją.

2.1.2 VR akiniai

Tyrimams buvo naudojami „Oculus Rift 1“ virtualios realybės akiniai. VR akinių parametrai[15]:

- Raiška: 640x800 taškų akiai.
- Atnaujinimo dažnis: 60Hz.
- Projektuojamo regos lauko plotumas: 110°
- Sensoriai: giroskopas, akcelerometras, magnetometras.
- Sensorių atnaujinimo dažnis: 1000Hz.
- Pozicijos nustatymo sensorius: CMOS
- Pozicijos sensoriaus atnaujinimo dažnis: 60Hz.



14 pav. Oculus Rift virtualios realybės akiniai[16].

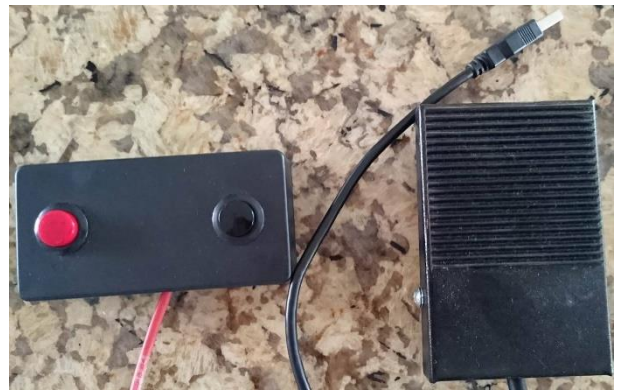
2.1.3 Kompiuteris

Pirmajai VR akinių versijai tinka, bet koks modernus kompiuteris turintis vaizdo plokštę, HDMI sąsają ir 2 USB jungtis. Ateityje reiktų naudoti vėlesnę Oculus Rift versiją. Jai kompiuterio reikalavimai tokie:

- Vaizdo plokštė: NVIDIA GTX 970 / AMD 290.
- Operatyvioji atmintis: 8Gb.
- Procesorius: Intel i5-4590.
- Jungtys: HDMI, 2xUSB 3.0.
- Operacinė sistema: Windows 7 arba vėlesnės versijos.

2.1.4 Manipulatorius.

Virtualioms figūroms valdyti ir testų užbaigimui reikalingas manipulatorius. Pradžioje buvo naudojamas “Dual Shock 4” žaidimų pultelis (Klaida! Nerastas nuorodos šaltinis. pav. a), virtuali figūra valdoma kairiąja analogine lazdele, o tvirtinimas atliekamas mygtuku „X“. Tiriamiesiems (ypač vyresnio amžiaus) skundžiantis, jog manipulatorius turi per daug mygtukų jis buvo pakeistas į paprastesnį. Naujasis valdiklis turi 2 mygtukus virtualios figūros valdymui ir pedalą veiksmų tvirtinimui (14 pav. b)).



a)

b)

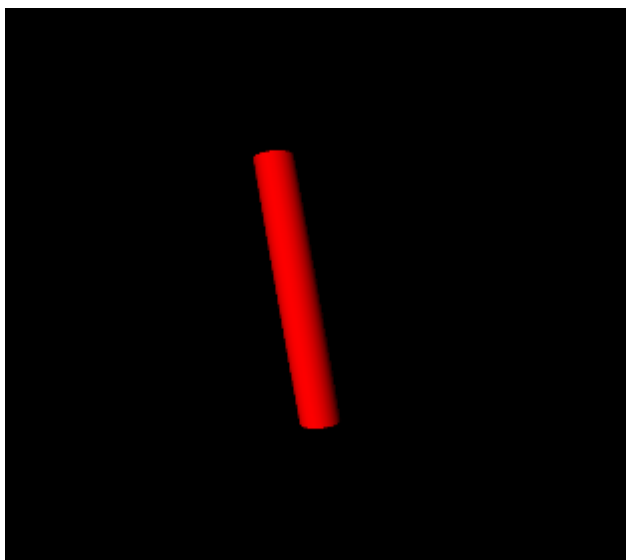
15 pav. a) "Dual Shock 4" pultelis[17] b) Sukurtas manipulatorius

2.2 Statinis ir dinaminis subjektyvios vertikalės testai

Eksperto metu sukurti testai atkartojantys „kibirėlio“ ir hemisferinio kupolo metodus virtualioje realybėje.

2.2.1 Statinis subjektyvios vertikalės testas.

Šis testas yra „Kibirėlio“ testo kopija virtualioje erdvėje. Pradėjus testą tiriamasis mato erdvėje pakrypusią figūrą nuo 5 iki 15 laipsnių į kairę arba dešinę pusę. Tiriamojo tikslas - naudojant manipuliatorių figūrą pastatyti į vertikalią padėtį (pav. 15), kai tiriamajam atrodo jog figūrą yra vertikaliaje padėtyje jis spaudžia tvirtinimo mygtuką (pedalą). Paspaudus pedalą figūra vėl pasikreipia atsitiktiniu kampu tarp 5 ir 15 laipsnių atsitiktinės pusės link. Tiriamajam pakartojus testą 5 kartus, testas yra baigiamas. Bandymo rezultatas – figūros vertikalės nukrypimas nuo tikrosios, jei nuokrypis yra dešinės pusės link rezultatai yra su neigiamu ženklu, jei kairės pusės link su teigiamu. Testo rezultatas – 5 bandymų vidurkis.



16 pav. tiriamojo matomas vaizdas atliekant statinį subjektyvios vertikalės testą.

Sukurtas testas pranašesnis už „kibirėlio“, nes:

- tiriamasis pats nelaiko matavimo prietaiso, taip atsikratome „inkaro“ kuris padeda orientuotis erdvėje.
- atliekami daug tikslesni matavimai, jutiklio esančio virtualios realybės akiniuose pagalba
- nereikalauja tamsios erdvės, į akinius nepatenka šviesa

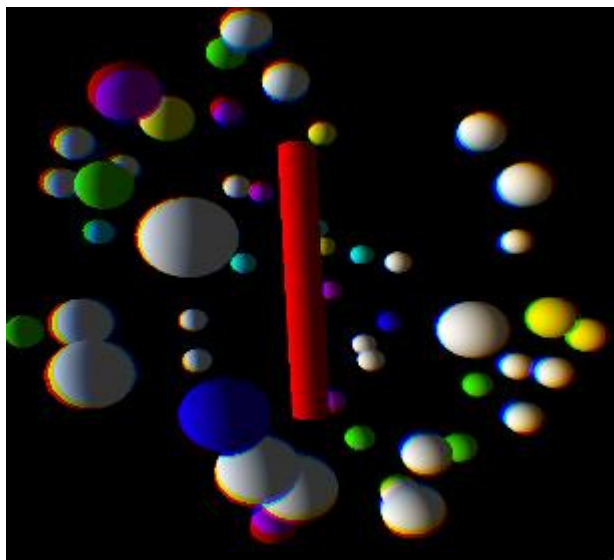
Matavimai gaunami tikslesni ir patikimesni.

2.2.2 Dinaminiai subjektyvios vertikalės testai.

Dinaminiai subjektyvios vertikalės testai yra hemisferinio kupolo testo kopija virtualioje erdvėje. Testas panašus į statinį testą, tiriamojo tikslas toks pats, pastatyti pakrypusią figūrą vertikaliai ir užtvirtinti sulyginimą pedalu, kai tiriamajam figūra atrodo statmena. Figūra pakreipiama atsitiktiniu nuo 5 iki 15 laipsnių kampu atsitiktinės pusės link. Dinaminis testas apsunkintas trikdžių, besisukančių kamuoliukų pagal, arba prieš laikrodžio rodyklę (**Klaida! Nerastas nuorodos šaltinis.** pav.). Trikdžių sukimosi greitis – 60 laipsnių per sekundę. Dinaminis testas tiriamasis atlieka 2, viename trikdžiai sukasi pagal laikrodžio rodyklę, kitame prieš laikrodžio rodyklę. Kiekvienas testas kartojamas po 5 kartus. Bandymo rezultatas yra figūros

vertikalės nukrypimas nuo tikrosios, jei nuokrypis yra dešinės pusės link rezultate gauti laipsniai su neigiamu ženklu, jei kairės pusės link su teigiamu. Testų rezultatai – 5 bandymų vidurkis.

Dinaminis subjektyvios vertikalės testas yra pigesnė ir mobilesni hemisferinio kupolo testo kopija.



17 pav. vaizdas matomas tiriamojo dinaminio subjektyvios vertikalės testų metu.

2.2.3 Testų rezultatų kiekybinio įvertinimo metodika

Testų rezultatus kiekybiškai būtų galima įvertinti trimis asimetrijos koeficientais.

Tarp dinaminio pagal laikrodžio rodyklę ir dinaminio prieš laikrodžio rodyklę.

	$k_j = \frac{\overline{\Delta d_{pa}}}{\overline{\Delta d_{pr}}} - 1$	(1)
--	---	-----

čia j – planetų skaičius,

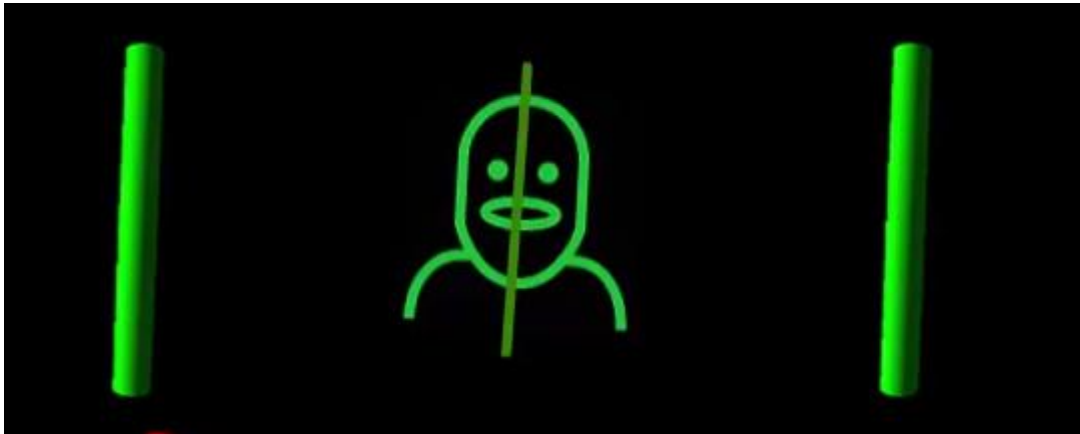
$\overline{\Delta d_{pa}}$ - nuokrypio kampo vidurkis išmatuotas dinaminiu testu su trukdžiais besisukančiais pagal laikrodžio rodyklę,

$\overline{\Delta d_{pr}}$ – nuokrypio kampo vidurkis išmatuotas dinaminiu testu su trukdžiais besisukančiais prieš laikrodžio rodyklę.

2.3 Galvos pokrypio testas

Galvos pokrypio testo metu tiriamasis mato virtualią figūrą (cilindrą) pakreiptą atsitiktiniu nuo 0 iki 10 laipsnių kampu atsitiktinės pusės link. Testo metu tiriamasis negali galvos laikyti pakreipęs žemyn ar aukštyn, jei tiriamasis galvą laiko gerai figūra matoma žalios spalvos, jei ne ji matoma raudonos spalvos. Tiriamojo tikslas sulyginti savo galvą su pakreipta figūra(pav. 17). Tiriamajam atlikus užduotį veiksmas patvirtinimas pedalu. Testas kartojamas penkis kartus.

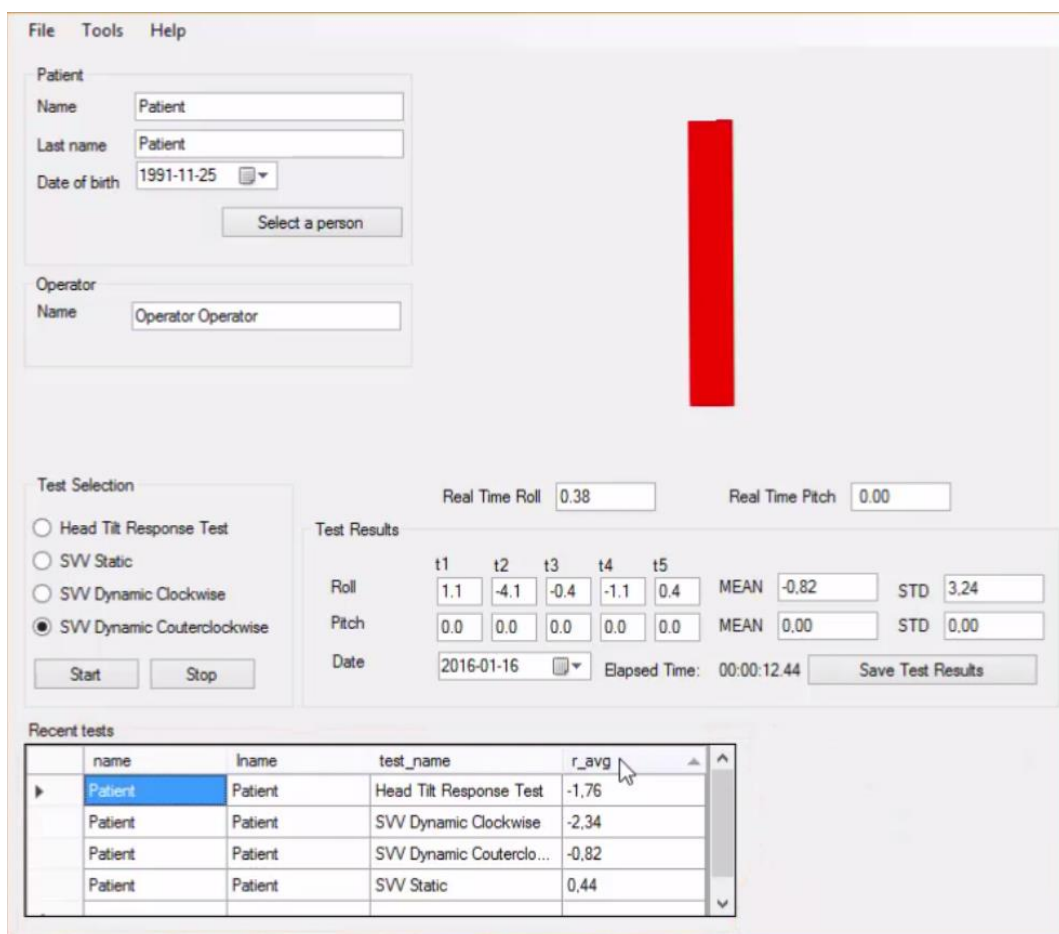
Bandymo rezultatas yra galvos vertikalės nukrypimas nuo figūros vertikalės, jei nuokrypis yra į dešinės pusės link rezultatai su neigiamu ženklu, jei kairės pusės link su teigiamu. Testo rezultatas yra penkių bandymų vidurkis.



18 pav. Galvos vertikalės sulginimas su figūros vertikale.

2.4 Mediko programa.

Lengvam testų pasirinkimui ir rezultatų atvaizdavimui, bei kaupimui sukurta programa matoma tik testuotojo/mediko. Programos vaizdą matote (18 pav.).



19 pav. Testuotojo/mediko programos vaizdas.

Programoje sveikatos apsaugos specialistas mato tiriamojo identifikavimo informaciją, gali įrašyti savo vardą pavardę. Lango apačioje matome testo pasirinkimo meniu, pasirinkus testą tyrėjas spaudžia mygtuką „Start“, tiriamajam jį užbaigus spaudžia mygtuką „Stop“. Dešinėje prie testo pasirinkimo matomi atliekamo testo rezultatai, kiekvieno testo bandymo rezultatai, vidurkis, bei dispersija, atitinkamai nuokrypiui į šoną („Roll“) ir nuokrypiui į priekį/atgal („Pitch“). Po testo rezultatais matome paskutinių 4 testų rezultatus, kuriuos sveikatos apsaugos specialistas gali redaguoti, jei tam yra poreikis. Virš testų rezultatų matomi, rezultatai realiu laiku, raudonas stačiakampis yra virtualios figūros reprezentacija ir jos pokrypis lange atitinka tiriamojo matomą pokrypį. Viršutiniame meniu paspaudus mygtuką „File“ ir atsiradusiame meniu paspaudus „Test Results“ matysime visų testų rezultatus, atsidariusiame lange juos galima peržiūrėti, trinti, kurti, patogiai iškopijuoti į duomenų apdorojimo programas.

2.5 Atraminiai periferinės vestibulinės sistemos tyrimo testai

Šiame skyriuje apžvelgiami atraminiai metodai naudoti patikrinti ar tiriamasis turi vestibulinių sutrikimų ar neturi. Tiriamųjų vestibulinės funkcijos veikla buvo tirama 3 metodais.

2.5.1 „Kibirėlio“ metodas

„Kibirėlio“ testas aprašytas skyriuje 1.2.3. Šis testas tiriamiesiems buvo atliekamas pirmas. Metodas yra plačiai naudojamas, klinikose tai yra pirmas testas atliekamas įtariant vestibulinį sutrikimą.

Testą tiriamiesiems reikėjo atlikti 3 kartus, jo rezultatas buvo visų testų vidurkis. Jei svarelis buvo nukrypęs dešinės pusės link rezultatas gautas su neigiamu ženklu, jei į kairę pusę su teigiamu.

2.5.2 cVEMP metodas

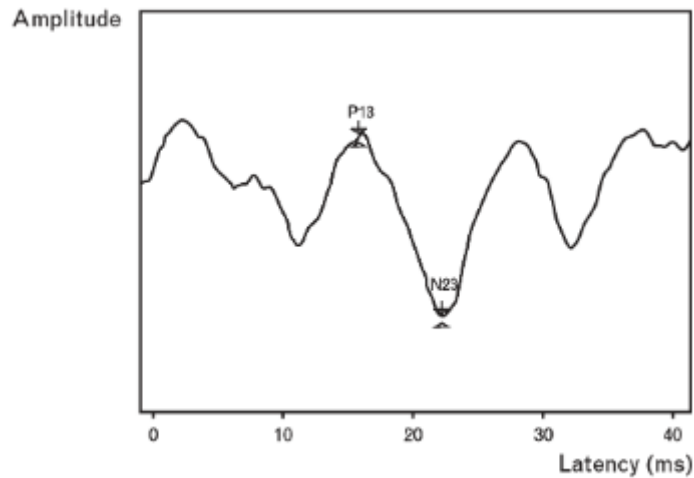
Vestibulinio aparato sukeltas miogeninis potencialas registruojamas, nuo galvos sukamojo raumens. Reliatyviai neinvazinis metodas, pacientams su vestibuliniais sutrikimais tirti. VEMP yra trumpo vėlinimo miogramos. Tiriamųjų vestibulinė sistema yra žadinama garsiais(95-105 decibelų virš girdėjimo ribos), bei aukšto dažnio(500Hz – 1000Hz) spragsėjimu. Testo rezultatas yra 100-250 VEMP signalų vidurkis kiekvienai ausiai. VEMP signalą charakterizuoja pirmieji teigiamas ir neigimas pikai. P13 teigimas pikas esantis 13ms atskaitoje, ir neigimas pikas N23 esantis 23ms atskaitoje, bei anomalus asimetrijos koeficientas. Anomalus asimetrijos koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę(2). Normalaus Vemp signalo pavyzdys pateikiamas pav. 19 [18].

	$AAR = 100 * \left \frac{A_L - A_R}{A_L + A_R} \right $	(2)
--	--	-----

Čia AAR – anomalus asimetrijos koeficientas.

A_L – amplitudės skirtumas tarp P13 ir tarp N23 kairėje ausyje.

A_R – amplitudės skirtumas tarp P13 ir tarp N23 dešinėje ausyje.



20 pav. normalus VEMP signalas.[19]

Normalios cVEMP vėlinimo reikšmės yra:

Lentelė 1 Normalios cVemp reikšmės[18][20]

VMEP parametras	Normalios reikšmės
P13 vėlinimas(ms)	13-20ms
N23 vėlinimas(ms)	20-30ms
AAR	<30-47%

Testas trunka apie 20 minučių.

2.5.3 Kalorinis biterminis videonistagmografijos metodas

Metodas laikomas vestibulinių sutrikimų nustatymo auksiniu standartu. Testą sudaro 4 etapai, kiekvienos ausies stimuliavimas su šaltu ir karštu vandeniu. Testas atliekamas tiriamajam gulint, galvą atlenkus 30° kampu, kad latentinis kanalas būtų horizontalus. Į vieną iš ausų pilamas vanduo arba pučiamas oras, maždaug 7° šiltesnis, arba šaltesnis už kūno temperatūrą. Vandens/oro tėkmė sustabdoma po 30 sekundžių, tada stebimas nistagmas, kol tiriamajam duodama užduotis pvz: skaičiuoti atbuline seka, ar vardinti žinomus gyvūnus. Nistagmas paprastai didėja 30-60 sekundžių, tada pamažu išnyksta per apytiksliai 2 min. Po 5 min. poilsio testas kartojamas su kita ausimi, arba su kita vandens temperatūra. Nistagmo sukelti akių judesiai stebimi, įrašomi ir analizuojami programinės įrangos. Tiriamiesiems tirti buvo naudojamas atšildytas/atvėsintas oras. Testo rezultatai yra 2 parametrai charakterizuojantys vestibulinę funkciją[21]:

Vienpusis nusilpimas, arba kiek procentais nusilpęs vestibulinis atsakas, skaičiuojamas pagal formulę (3)[21].

	$UW = \frac{(RW + RC) - (LW + LC)}{RW + RC + LW + LC}$	(3)
--	--	-----

Čia UW – vienpusis nusilpimas(proc.).

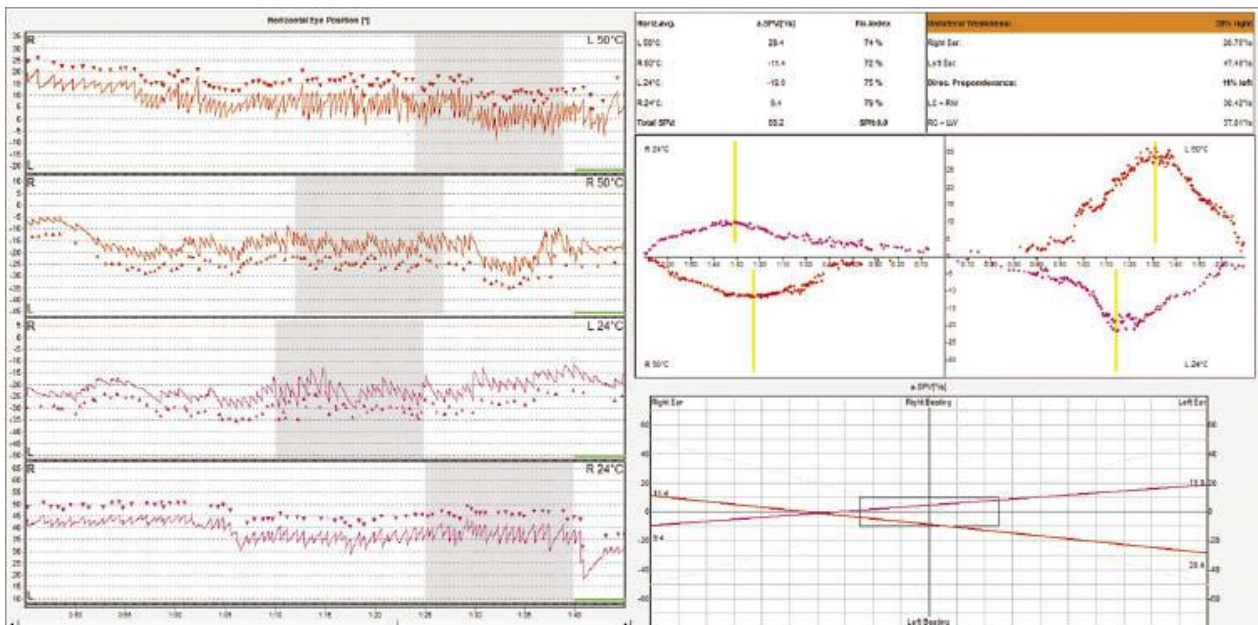
RW – Dešinės pusės tirtos su šiltu oru didžiausias atsakas(laipniais per sekundę).

RC – Dešinės pusės tirtos su šaltu oru didžiausias atsakas(laipniais per sekundę).

LW – Kairės pusės tirtos su šiltu oru didžiausias atsakas(laipniais per sekundę).

LC – Kairės pusės tirtos su šaltu oru didžiausias atsakas(laipniais per sekundę).

Skirtumas tarp asų mažesnis už 25% yra normalus, didesnis arba lygus 25% rodo kliniškai svarbų vienpusį silpnumą. 21 matomas kairės pusės nusilpimas[21].



21 pav. Videonistagmografijos testas, kuriame matomas kairės pusės vienpusis nusilpimas[21].

Kryptinis vyravimas: matuoja kryptinius atsakus (palygina nistagmo reflekso kiekį į dešinę ir į kairę pusę). Dirginant dešinę ausį šiltu oru arba kairę šaltu sukeliama greiti atsakai dešinės pusės link, o dirginant dešinę ausį šaltu oru arba kairę šiltu gaunami greiti atsakai kairės pusės link. Parametras skaičiuojamas pagal formulę (3)[21].

	$DP = \frac{(RW + LC) - (LW + RC)}{RW + RC + LW + LC}$	(3)
--	--	-----

Čia DP – kryptinis vyravimas.

Teigiamas rezultatas reiškia jog atsakas dešinės pusės link stipresnis, jei rezultatas neigiamas, stipresnis atsakas kairės pusės link.

Jei kryptinis vyravimas yra mažesnis už 30%, rezultatai nelaikomi kliniškai svarbiais.

3 REZULTATAI

3.1 Tiriamieji ir tyrimo protokolas

Sistemos efektyvumo tyrime dalyvavo 36 sveiki tiriamieji. 26 moterys ir 10 vyrų be vestibulinės sistemos sutrikimų istorijos, nei vienas tiriamasis tyrimų metu nesiskundė vestibulinės funkcijos sutrikimais. Moterų amžiaus vidurkis – 26.0 ± 1.4 metai, vyrų - 27.3 ± 2.3 metai. Visi tiriamieji atliko tyrimus tokia pačia tvarka. Tyrimų tvarka buvo parinkta taip, kad kiekvienas tyrimas mažiausiai trukdytų vienas kitam. Tyrimai buvo atliekami tokia tvarka:

- 1) „Kibirėlio testas“.
- 2) cVEMP testas.
- 3) Kalorinis videonistagmografijos testas.
- 4) Virtualios realybės testai vestibulinei sistemai tirti.
 - a. Statinis subjektyvios vertikalės testas.
 - b. Dinaminis subjektyvios vertikalės testas su trikdžiais besisukančias pagal laikrodžio rodyklę.
 - c. Dinaminis subjektyvios vertikalės testas su trikdžiais besisukančias prieš laikrodžio rodyklę.
 - d. Galvos pokrypio testas.

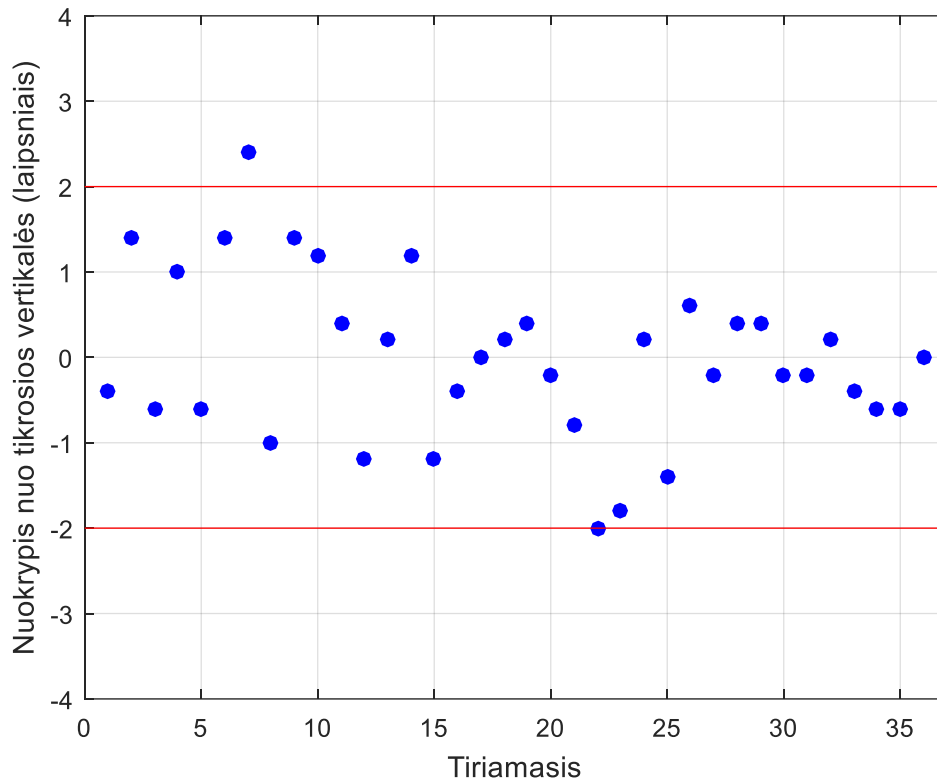
Tyrime sutiko dalyvauti 30 tiriamųjų kuriems buvo įtariami vestibulinės funkcijos sutrikimai, į gydymo įstaigą jie kreipėsi dėl svaigstančios galvos. Vestibulinės sistemos sutrikimai aptikti 16 iš jų, 13 moterų ir 3 vyrams. Kadangi, tai nebuvo savanorių grupė ir tyrimai vykdavo vizito pas gydytoją metu, dėl laiko stokos buvo atliekami tik reikalingi tyrimai vestibulinės funkcijos sutrikimams nustatyti ir jiems sutikus virtualios realybės testai. Tiriamieji su sutrikimais neatliko galvos pokrypio testo, nes jį tiriamieji nelabai jį suprato ir jį atlikdavo neteisingai.

3.2 Atraminių testų rezultatai sveikiems tiriamiesiems.

Šiame skyriuje apžvelgiami atraminių testų rezultatai sveikiems tiriamiesiems. Susisteminta rezultatų lentelė pateikta priede B.

3.2.1 „Kibirėlio“ testo rezultatai.

Šiame skyriuje pateikiami sveikų tiriamųjų „kibirėlio“ testo rezultatai



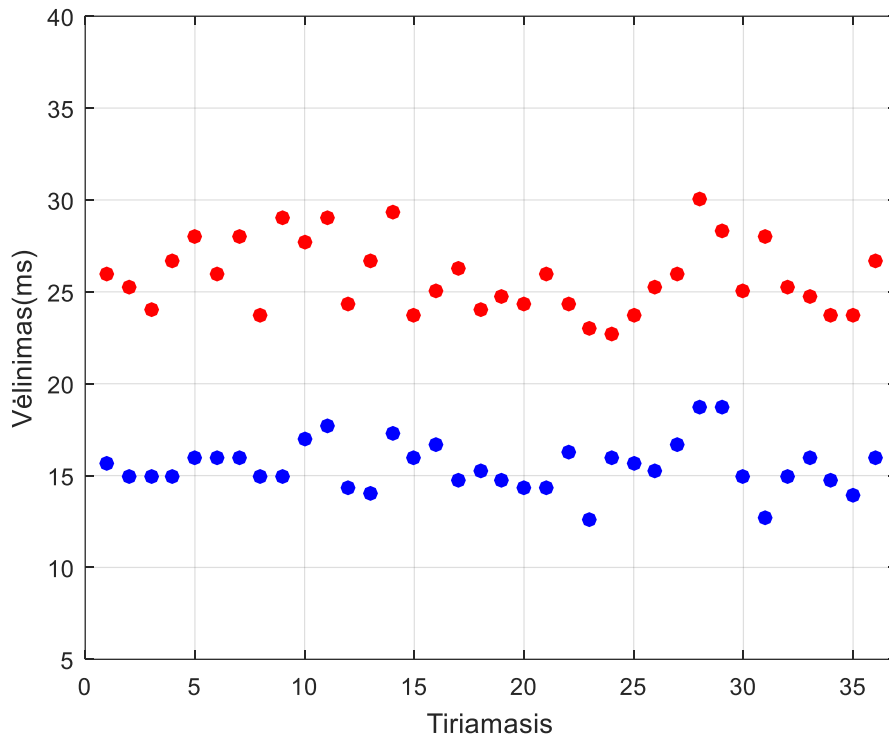
22 pav. „Kibirėlio“ testo rezultatai.

22 pav. matome visų 36 tiriamųjų „kibirėlio“ testo rezultatus, jis laikomas pavykusiu, kai 3 testų vidurkis nėra didesnis už 2° ir mažesnis už -2° , normos iliustruotos raudonomis linijomis grafike. Matome jog beveik tiriamieji pagal šį testą yra sveiki. Vieno tiriamojo nukrypimas nuo normos nelaikomas kliniškai svarbiu. Vidutinis testo laikas žmogui 1min.

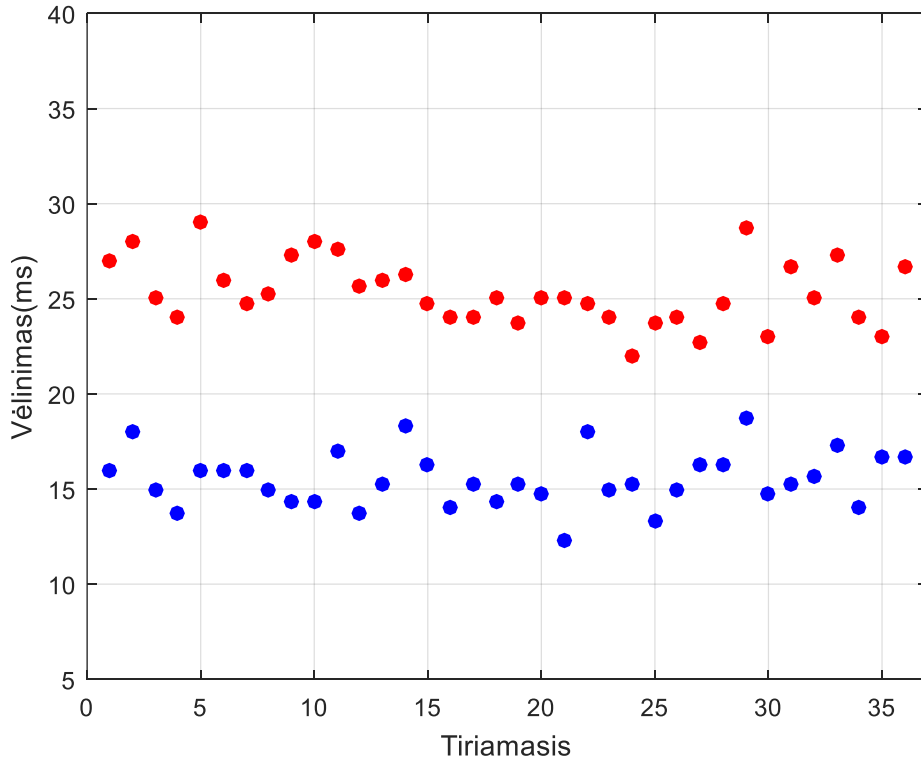
3.2.2 cVEMP testo rezultatai

Šiame skyriuje pateikiami cVemp testo rezultatai sveikiems tiriamiesiems. Rezultatai pateikiami kiekvienai vestibulinės sistemos pusei atskirai

23 pav. kairės pusės rezultatai, 24 pav. dešinės pusės rezultatai. Raudonais taškais žymimos N23 vėlinimo reikšmės, mėlynais P13. Visi tiriamieji remiantis vėlinimo reikšmėmis, vestibulinių sutrikimų neturi. Tiek kairės, tiek dešinės pusės rezultatai patenka į normas kurios aprašytos 2.5.2 skyriuje.

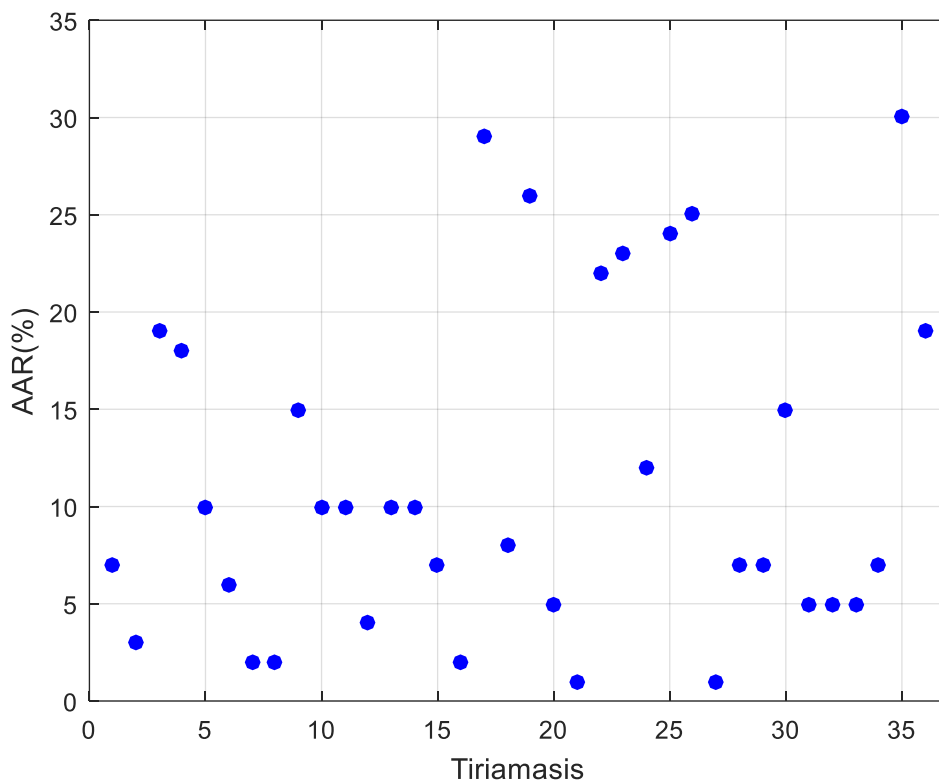


23 pav. cVEMP kairės pusės rezultatai.



24 pav. cVEMP dešinės pusės rezultatai.

25 pav. matome, jog ir anomalus asimetrijos koeficientas neišeina iš normalių ribų aprašytų 2.5.2 skyriuje.

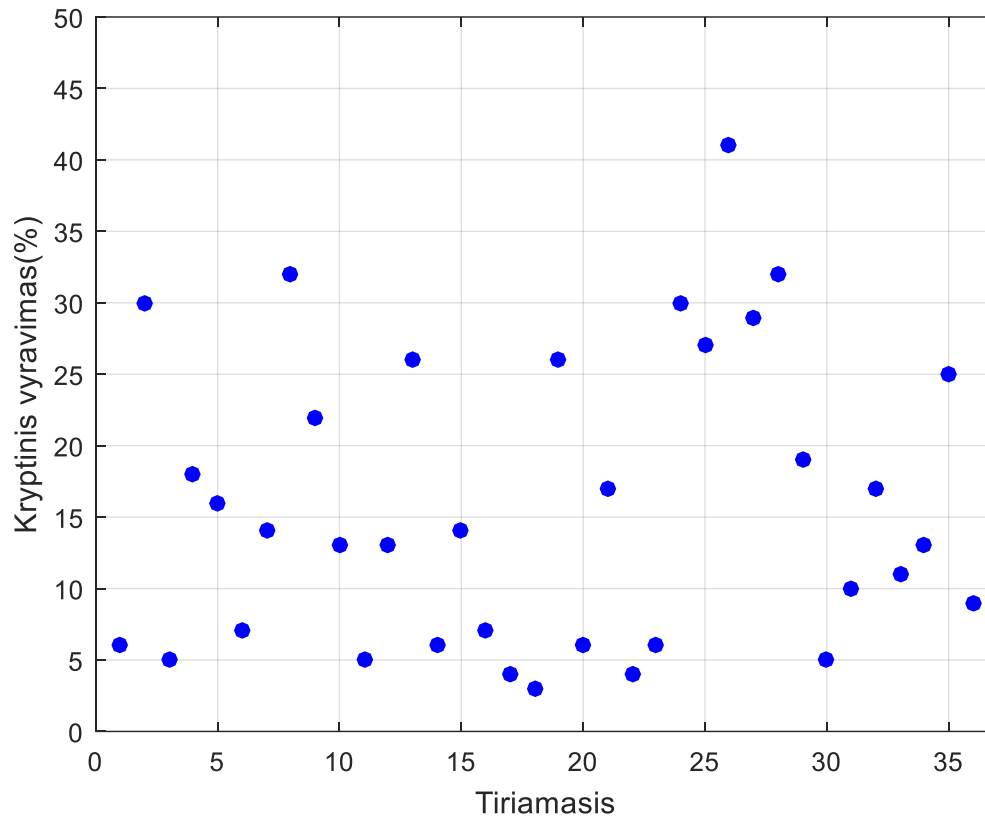


25 pav. Anomalus asimetrijos koeficientas sveikiems tiriamiesiems.

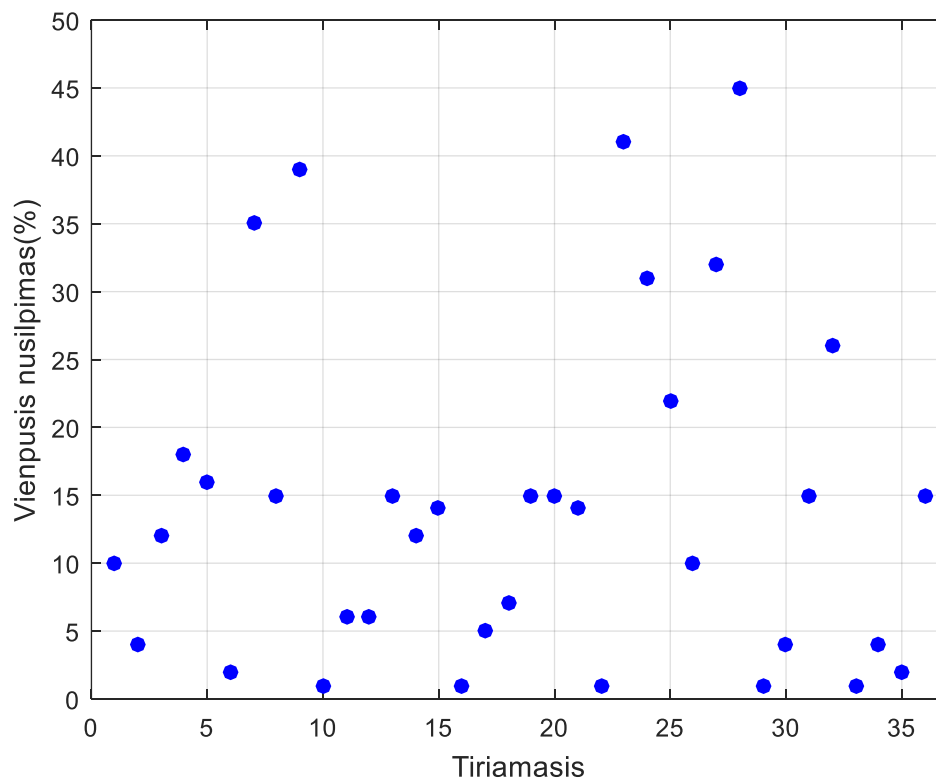
Vidutinis testo laikas 15min.

3.2.3 Kalorinės videonistagmografijos testo rezultatai.

Ištyrus visus tiriamuosius 7 tiriamiesiems nustatytas didesnis už normą vienpusis silpnumas, didesnis už 25%, 3 tiriamiesiems nustatytas didesnis už normą kryptinis vyravimas. Medicinos specialistai remdamiesi visų testų visuma, ligos istorija ir tiriamųjų savijauta testo metu, nustatė, jog rezultatai neaptenkantys į nustatytas normas nėra kliniškai reikšmingi ir tiriamieji yra sveiki.



26 pav. Kryptinis vyravimas.

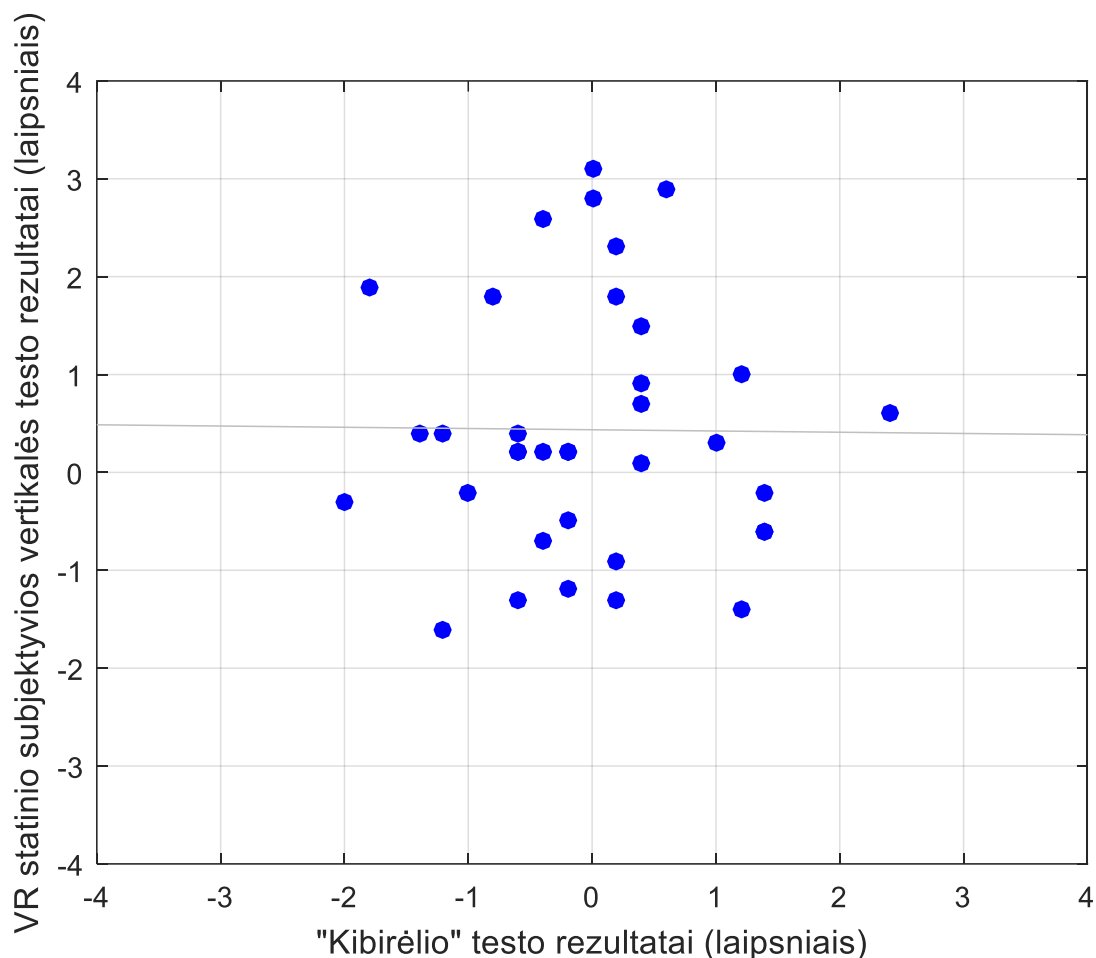


27 pav. Vienpusis nusilpimas.

Vidutinis testo laikas 20min.

3.2.4 Virtualios realybės testų rezultatai

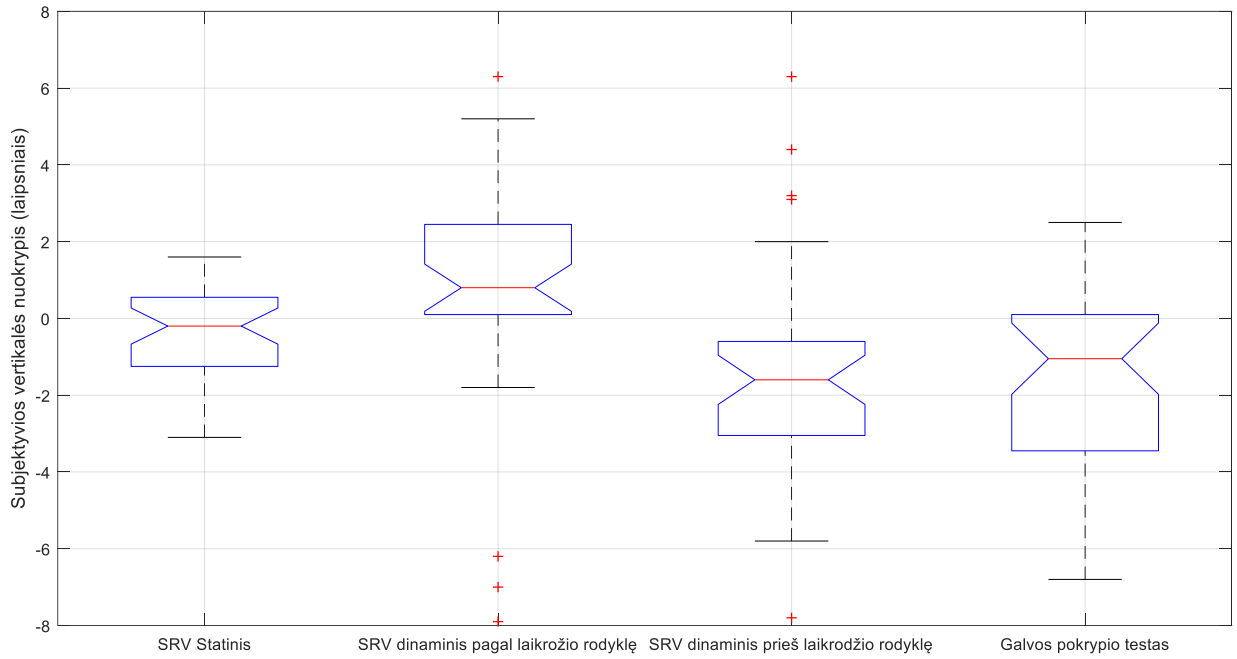
Ištyrus visus tiriamuosius virtualios realybės testais buvo gauti rezultatai, kuriuos galima pamatyti skyriuje „Priedas B Sveikų tiriamųjų virtualios realybės testų rezultatai.“.



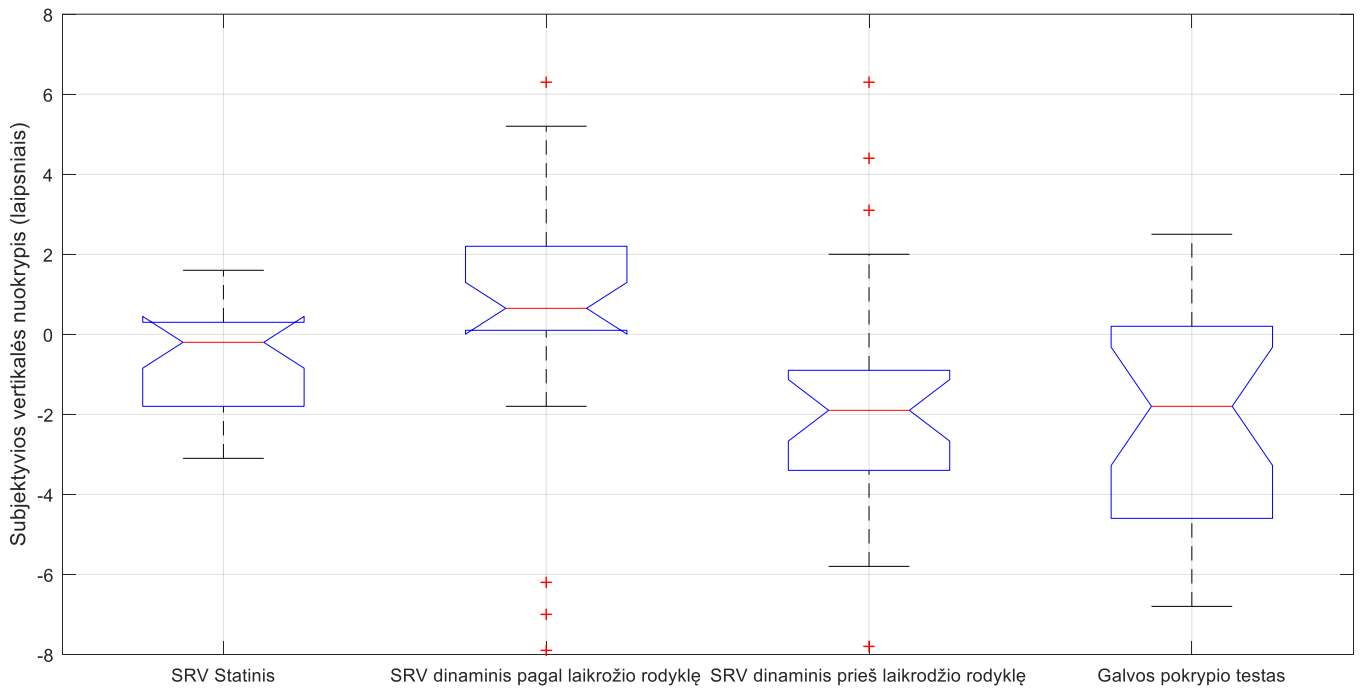
28 pav. Koreliacija tarp virtualios realybės statinio subjektyvios vertikalės testo ir „kibirėlio“ testo

Nors statinis subjektyvios vertikalės testas yra „Kibirėlio“ testo kopija virtualioje realybėje, buvo gauta labai maža koreliacija 0,016481, koreliacija iliustruota 28 pav.

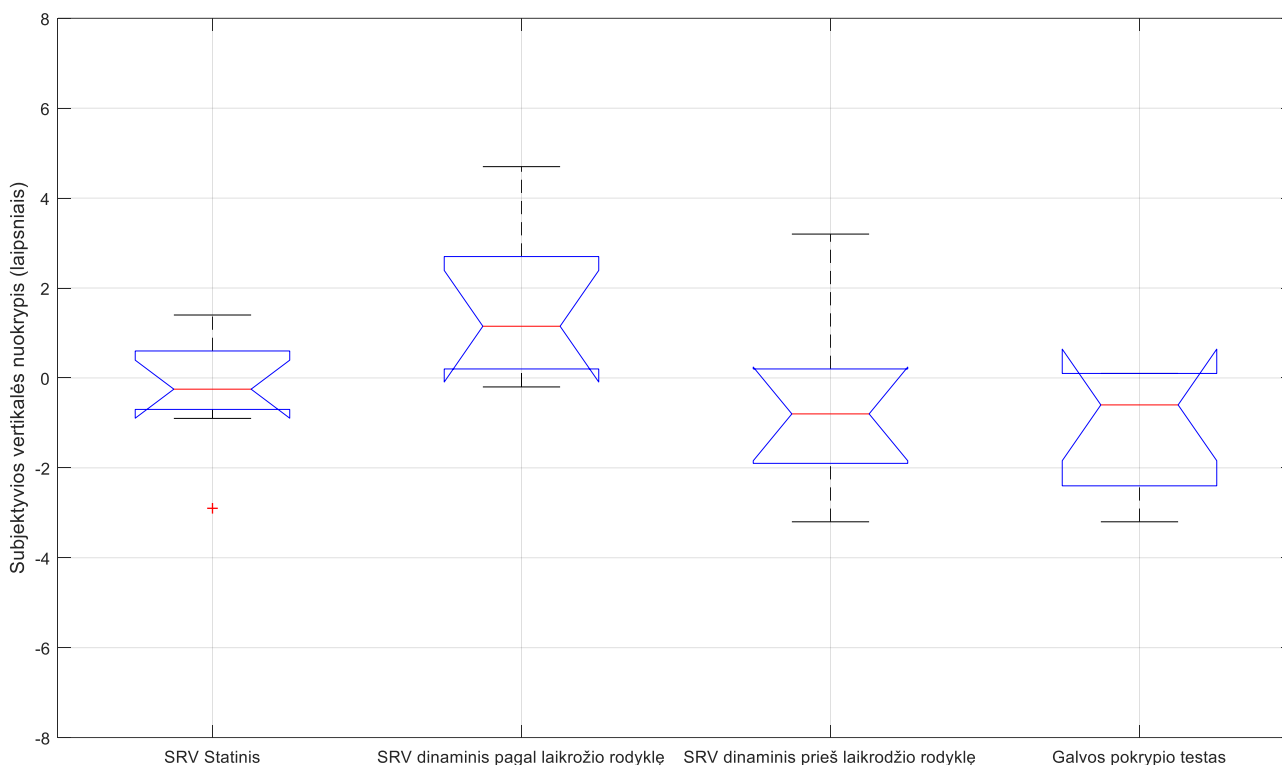
Statiniame subjektyvios vertikalės teste tiek moterys tiek vyrai, parodė į „kibirėlio“ testo normas patenkančius rezultatus (nuo -2° iki 2°), vieno tiriamojo rezultatai nepateko į normalias ribas, buvo didesni už 2° (29 pav.). Rezultatai beveik tolygiai pasiskirstę aplink 0° , vyrų rezultatai krypsta labiau į neigiamą (Klaida! Nerastas nuorodos šaltinis. pav.), o moterų į teigiamą pusę (30 pav.).



29 pav. Visų sveikų tiriamųjų virtualių subjektyvios vertikalės testų rezultatai



30 pav. Sveikų moterų virtualios realybės, subjektyvios vertikalės testų rezultatai



31 Sveikų vyrų virtualios realybės, subjektyvios vertikalės testų rezultatai

Dinaminio subjektyvios vertikalės testo metu, kaip ir tikėtasi[3], trukdžiams sukantis pagal laikrodžio rodyklę rezultatai gauti nukrypę teigiamos pusės link, trikdžiams sukantis pagal laikrodžio rodyklę nukrypę neigiamos pusės link. Rezultatams lytis įtakos neturi. Galvos pokrypio testo metu daugumai tiriamųjų gauti labai dideli nuokrypiai. Hemisferinio kupolo testo norma yra nuo $-2,5^\circ$ iki $2,5^\circ$ vos keli tiriamieji į šias normas nepateko, taip galėjo nutikti, dėl virtualios realybės sukeltų nemalonių pojūčių ir per didelio trikdžių greičio, nemalonus pojūčiai galėjo atsirasti, dėl nepakankamų kompiuterinės įrangos vaizdo plokštės parametrų, neišėjo palaikyti pastovios 60 kadru per sekundę vaizdo kokybės, kurios reikėjo norint sukurti sklandžią animaciją.

Vidutinis testo laikas statiniam testui 50 sek., dinaminiam su trukdžiais besisukančiais pagal laikrodžio rodyklę 42 sek, dinaminiam su trukdžiais besisukančias prieš laikrodžio rodyklę 43 sek., galvos pokrypio testui 1min.

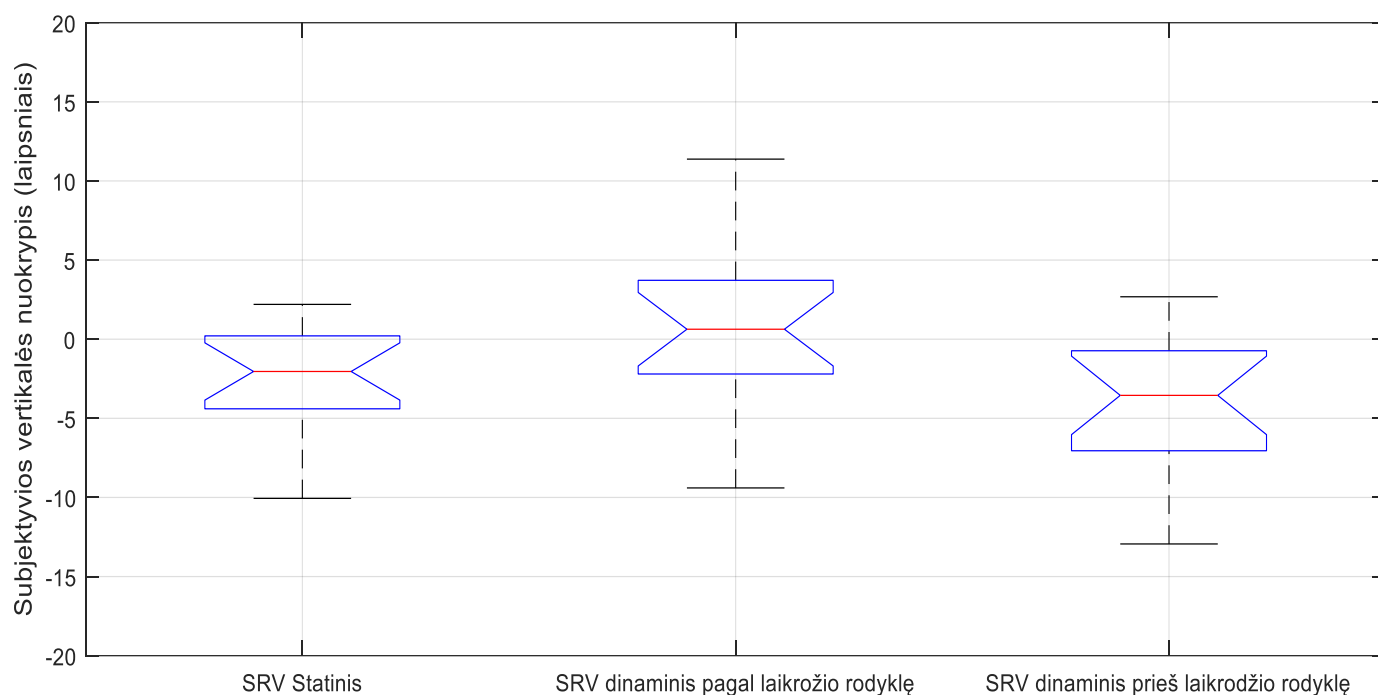
Asimetrijos koeficientas dinaminiam testams gautas -1,85.

3.3 Pacientų su periferinės vestibulinės sistemos patologija tyrimo rezultatai

Šiame skyriuje patiekiami 16 tiriamųjų su nustatytu vestibuliniu sutrikimu tyrimų rezultatai.

3.3.1 Virtualios realybės testų rezultatai.

Rezultatuose matoma daug didesnė rezultatų sklaida, tiek pas vyrus, tiek pas moteris. **Klaida! Nerastas nuorodos šaltinis.**pav. statiniame teste matome ryškiai padidėjusius nuokrypius į abi puses, dinamiame teste su trikdžiais besisukančiais pagal laikrodžio rodyklę matome padidėjusius nuokrypius į abi puses, nors rezultatai turėtų linkti teigiamos pusės link. Dinaminio testo su trikdžiais, besisukančiais prieš laikrodžio rodyklę rezultatai, kaip ir tikėtasi, daug dažniau peržengė normas į neigiamą pusę. Stačiakampę diagramą iškreipia rezultatai atspindintys smarkius vienpusius vestibulinius sutrikimus, smarkiai nukrypę į vieną pusę pvz.: 5 atvejis lentelėje 2.



32 pav. Tiriamųjų su vestibulinės funkcijos sutrikimais virtualios realybės testų rezultatai.

Lentelė 2 parodomi visų tiriamųjų sus sutrikimais rezultatai su medikų komentarais iš pacientų kortelių, lentelėje aiškiai matome, sutrikimų atspindžius SRV testuose, ypač su vienpusiais vestibulinės funkcijos sutrikimais, pvz. 5 tiriamojo atveju. 12 tiriamojo atveju matome aiškius nuokrypius į kairę tiek statiniame tiek dinamiame teste, patvirtintus „cVEMP“ testo iškreipiančius bendrą testo statistiką. Asimetrijos koeficientas tarp dinaminių testų gautas -1,16.

Lentelė 2 Tiriamųjų su vestibulinės sistemos sutrikimais subjektyvios regos vertikalės testo rezultatai.

Eil. nr	Lytis	Statinis SRV	Dinaminis SRV pagal laikrodžio rodyklę	Dinaminis SRV prieš laikrodžio rodyklę	Medikų komentaras.
1	1	4,78	-5,14	12,94	
2	1	-0,24	0,9	2,22	VNG: UW – 39%, DP -39%, kiti tyrimai be pakitimų (liekamieji perif. Vestib. s. požymiai dešinėje, nenyksta, abejotina ar kliniškai reikšminga).
3	0	1,5	-0,82	12,84	VNG – norma, DSRVS – 12 ^o į dešinę, oVEMP – abipus negauta bangų, cVEMP- norma (Menjero liga, diferencijuojama tarp demielinizupjančio susirgimo).
4	1	2,46	-0,58	-2,64	VNG norma, cVEMP – abipus nėra PIN1 (pakenkimas po meningito), oVEMP – norma. Liekamieji reiškiniai po meningito.
5	1	10,06	9,4	9,74	UW- 47% kairėje, DP – 9%, DSRVS – 10 į deš. cVEMP - 0,4 amplitudžių santykis , dešinėje mažesnis. (Liekamieji reiškiniai periferinio vestibulinio sutrikimo kairėje po buvusio neuronito.)
6	1	4,02	2,62	5,2	21% silpnesnė deš. labirinto f-ija. cVEMP – norma. Galima įtarti Menjero ligą.
7	1	-0,78	-5,04	-2,68	UW- 28% kairėje, DP – 28%, dinaminis SRVS – 5 ^o i kaire, oVEMP – patologinis amplitudžių santykis kairėje (0,39). (būklė po vestibulinio neuronito kairėje).
8	1	-1,1	-0,62	-1,38	UW – 50% silpnesnė k. labirinto f-ija, 31% centrinis vyravimas į dešinę, oVEMP – kairėje N1P1 negauta, centrinio vestib. s. požymiai.
9	1	2,74	-5,06	8,02	VNG – norma, DSRVS – į kairę 5 ^o , cVEMP – dešinėje ampl. Sumažėjusi, santykis 0,3. Liekamieji reiškiniai po vestibulinio neuronito dešinėje.
10	1	2,94	4,06	4,1	VNG – negauta k.labirinto reakcijų, DSRV – 4,5 ^o abipus, oVEMP – negauta abipus? Lengvo laipsnio perif. vestibulinio s. požymiai.
11	1	-2,2	1,78	3	UW – 15% silpnesnė kairėje. DSRVS – 3 ^o į deš. oVEMP – negauta abipus?, cVEMP abipus norma. Lengvas perif.s.kairėje, abejotina ar kliniškai reikšmingas.
12	1	7,36	-0,96	6,08	VNG – k. labirinto nėra reakcijų, DSRVS – 7 ^o į deš. cVEMP – 0,31 amplitudės asimetrija kairėje, o VEMP – negauta PIN1 kairėje. (vestibulinis neuronitas).
13	1	1,12	-11,38	0,12	UW – 22% kairėje, DP – 12% , dinaminis SRVS ryškiai sutrikęs 11 ^o (pagal laikrodžio rodyklę), oVEMP – k. virš. vestib .nervo f-ijos susilpnėjimas (lengvas perif. vestib. sutrikimas).
14	0	5,9	-0,64	1,34	VNG – negauta reakcijų abipus. Dinaminis SRVS nesutrikęs, statinis 5 ^o į dešinę, oVEMP – negauta abipus, cVEMP – negauta abipus PIN1. Abipusė vestibulinė degeneracija.
15	0	1,62	3,54	5,24	VNG: UW – 25%, DP – 25%, dinaminis SRVS 5% į dešinę, kiti tyrimai be pakitimų (kliniškai neatrodo reikšminga).
16	1	-0,18	-2,4	2,02	VNG: UW – 28%, DP – 28%, kiti tyrimai be pakitimų (nežymi asimetrija, pagerėję po gydymo)

4 IŠVADOS

- Darbe pristatyta inovatyvi virtualios realybės įranga pagrįsti testai žmogaus periferinei vestibulinei sistemai tirti, tai yra vienas pirmųjų bandymų Oculus Rift naudoti, kaip medicininį prietaisą. Oculus Rift turi didelį potencialą kurti subjektyvios vertikalės testams.
- Siūloma sistema nereikalauja tamsių patalpų kaip kiti testai. Virtualios realybės akiniai sukuria labiau įtraukiančią vizualinę aplinką, bei pašalina lytėjimo, bei vizualinius inkarus, kurie tiriamiesiems leidžia tiksliau nustatyti gravitacinę vertikale.
- Sistema turi ir trūkumų. Pirmoji Oculus Rift versija turi per mažos raiškos ekraną. Įstrižos linijos dėl per mažo taškų skaičiaus ekrane yra piešiamos nelygios ir tiriamasis gali tą matyti. Pasirinktas per didelis trukdžių greitis dinaminuose testuose, kompiuterinė įranga negebėjo generuoti tolydžių animacijų. Jautresni tiriamieji jautė animacijų vėlinimą ir jautėsi negerai, tai galėjo iškreipti jų testų rezultatus.
- Gauti virtualių testų rezultatai statistiškai reikšmingi, o nukrypimai nuo realių testų nėra statistiškai reikšmingi. Vienintelis nepavykęs testas buvo galvos pokrypio, dideli nuokrypiai buvo gauti, dėl to kad tiriamieji dažnai nesuprato užduoties, šio testo tiriamiesiems su vestibuline disfunkcija buvo atsisakyta. Visi 4 testai atliekami mažiau nei per minutę, žymiai greičiau, nei videonistagmografija ar „cVEMP“. Kadangi testai atliekami greitai metodas gali būti naudojamas pastoviam vestibulinės funkcijos stebėjimui. Kadangi sistema kompiuterizuota, gauti duomenys lengviau sisteminami, sekami laike.

5 GALIMOS ATEITIES TYRIMŲ KRYPTYS

Darbe pristatytas tik sistemos prototipas ir jai tikrai yra kur tobulėti, šiame skyriuje apžvelgsime, kaip galima patobulinti sistemą.

5.1 Įranga

Vienas pagrindinių sistemos sukurtos vestibulinei funkcijai tirti yra mobilumas, todėl ateityje norima naudoti visiškai belaides technologijas. Oculus Rift galima pakeisti belaidžiais akiniais su didesnės raiškos ekranu pvz. „Samsung Gear“ (33 pav.).



33 pav. Samsung Gear VR virtualios realybės akiniai[22].

Taip pat mediko programos valdymui atsisakyti nešiojamo kompiuterio, kadangi animacijos bus generuojamos pačiuose akiniuose. Vietoje nešiojamo kompiuterio galima naudoti planšetę kurioje medikas gali pasirinkti testą, pildyti informaciją, bei matyti, kaip tiriamajam sekasi atlikti testus.

Manipuliatorių galima pakeisti į gestais valdomą pvz. apyrankę(34 pav.), tačiau reiktų parinkti tokį, kad juo naudotis sugebėtų visų amžiaus, bei išsilavinimo lygio žmonės.



34 pav. Apyrankė leidžianti valdyti kompiuterinius įrenginius gestais.[23]

Išvardinta komplektacija svertų iki 1.5 kilogramo ir tilptų į nedidelį lagaminėlį.

5.2 Testai

Darbe aprašyti testai buvo paprasti, paremti jau egzistuojančiais testais, ateityje juos galima bandyti artinti prie realybės, vaizduoti realias, kiekvienam pažystamas aplinkas, prašyti atlikti kasdienes užduotis, taip palengvinant testų paaiškinimą.

Galima sukurti žaidimo tipo programas skirtas vestibulinės funkcijos reabilitacijai saugioje aplinkoje, kaip aprašyta literatūros analizėje.

6 LITERATŪROS ŠARAŠAS

1. Timothy C. Hain, MD, Janet O. Helminski, PT, PhD. „Anatomy and Physiology of the Normal Vestibular System“, VESTIBULAR REHABILITATION, FOURTH EDITION p. 2, 2014.
2. A. Zwergal, M. Strupp „A bucket of static vestibular function“, vol. 72, no. 19, p 1689, 2009.
3. Hironari Kobayashi, Yujiro Hayashi, Kazutaka Higashino, Akira Saito, Takanobu Kunihiro, Jin Kanzaki, Fumiyuki Goto, „Dynamic and static subjective visual vertical with aging“, vol 29, no. 4, p. 325, 2002.
4. Elham Khojasteh, Christopher J. Bockisch, Dominik Straumann, Stefan C.A.Hegemann, „A Mechanism for Eye Position Effects on Spontaneous Nystagmus“, ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY 2012.
5. Jasper E. Visser, Mark G. Carpenter, Herman van der Kooij, Bastiaan R. Bloem, „The clinical utility of posturography“, CLIN NEUROPHYSIOL, vol. 119, no. 11, p 2424, 2008.
6. Dario Geisinger, Enrique Ferreira, Alejo Suarez, Hamlet Suarez, „Head tilt response: A complementary test to the Subjective Visual Vertical“, J VESTIB RES, vol. 20, no. 5, p. 381, 2009.
7. Martha Funabashi, Taiza Elaine Grespan Santos-Pontelli, Jose Fernando Colafemina, Theo Zeferino Pavan, Antonio Adilton Oliveira Carneiro,III Osvaldo Massaiti Takayanagui, „A new method to analyze the subjective visual vertical in patients with bilateral vestibular dysfunction“, CLINICS, vol. 67, no. 10, p. 1127, 2012.
8. Pavan TZ, Funabashi M, Carneiro JA, Pontelli TE, Tedeschi W, Colafemina JF, Carneiro AA. Braz J. “Software for subjective visual vertical assessment: an observational cross-sectional study”, BRAZ J OTORHINOLARYNGOL, vol. 78, no. 5, p. 51, 2012.
9. Susan L. Whitney, Ph.D., Patrick J. Sparto, Ph.D., Larry F. Hodges, Ph.D., Abarish V. Babu, M.S., Joseph M. Furman, M.D., Ph.D., Mark S. Redfern, Ph.D, „Responses to a Virtual Reality Grocery Store in Persons with and without Vestibular Dysfunction“ CYBERPSYCHOL BEHAV, vol. 9, no. 2, 2006.
10. Shih-Ching Yeh, Pa-Chun Wang, Yen-Po Hung, Chia-Huang Chang, Shuya Chen, Mu-Chun Su, Hsueh-Lin Chen, „An Innovative VR-based Vestibular Rehabilitation System“, E-HEALTH NETWORKING, APPLICATIONS AND SERVICES (HEALTHCOM), 2012 IEEE 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE, p. 213, 2012.

11. Timo Tossavainen, Esko Toppila, Ilmari Pyykkö, Pia M. Forsman, Martti Juhola, and Jukka Starck, „Virtual Reality in Posturography“, IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE, vol. 10, no. 2, p. 282, 2006.
12. Demer JL, Honrubia V, Baloh RW., „Dynamic visual acuity: a test for oscillopsia and vestibulo-ocular reflex function“, AM J OTOL, vol. 15, no. 3, p. 340, 1994.
13. Posturografijos paveikslas [interaktyvus] [žiūrėta 2016-05-11]. Prieiga per internetą: <http://www.athleticbusiness.com/images/old_site/editors/uploads/computerized-dynamic-posturography.jpg>.
14. S. Stanaitis, M. Marozas, M. Šileikaitė, R. Liutkevičienė, V. Ulozas, V. Marozas, I. Ulozienė, „Virtual Reality based System for Investigation of Peripheral Vestibular Function“, XIV MEDITERRANEAN CONFERENCE ON MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING AND COMPUTING 2016, vol. 57, p. 110, 2016.
15. Oculus Rift informacija [interaktyvus] [žiūrėta 2016-01-11]. Prieiga per internetą: <<http://riftinfo.com/oculus-rift-specs-dk1-vs-dk2-comparison>>
16. Oculus Rift 1 paveikslas [interaktyvus] [žiūrėta 2016-04-03]. Prieiga per internetą: <<https://dbvc4uanumi2d.cloudfront.net/cdn/4.2.5/wp-content/themes/oculus/img/order/dk1-product.jpg>>
17. Dual Shock 4 pultelio vaizdas [interaktyvus] [žiūrėta 2016-03-02]. Prieiga per internetą: <http://ecx.images-amazon.com/images/I/71uQYNKiKCL._SX425_.jpg>
18. Suwicha Isaradisaiikul, Niramom Navacharoen, Charuk Hanprasertpong, Jaran Kangsanarak, „Cervical Vestibular-Evoked Myogenic Potentials: Norms and Protocols“, INTERNATIONAL JOURNAL OF OTOLARYNGOLOGY, vol. 2012, no. 2012, p. 7, 2011.
19. Julie A. Honaker and Ravi N. Samy, „Vestibular-evoked myogenic potentials“ OTOLARYNGOLOGY & HEAD AND NECK SURGERY, vol. 15, no. 2007, 2007.
20. Richard E. Gans, Richard A. Roberts, „Understanding Vestibular-Evoked Myogenic Potentials (VEMPs)“, AUDIOL TODAY, vol. 17, p. 23, 2005.
21. Cammy Bahner; Michelle Petrak; Douglas L. Beck, Amanda Smith, „In the Trenches, Part 3: Caloric and Rotational Chair Tests“, [interaktyvus] [žiūrėta 2016-02-15]. <<http://www.hearingreview.com/2012/04/in-the-trenches-part-1-screening-tests-for-patients-with-dizziness/>>
22. Samsung Gear Vr atvaizdas [interaktyvus] [žiūrėta 2016-05-07]. <[http://images.samsung.com/is/image/samsung/uk_SM-R321NZWABTU_000000005_Left-45-Degree_white?\\$TM-Gallery\\$](http://images.samsung.com/is/image/samsung/uk_SM-R321NZWABTU_000000005_Left-45-Degree_white?$TM-Gallery$)>

23. Išmaniosios apyrankės vaizdas [interaktyvus] [žiūrėta 2016-04-23].

<<http://core0.staticworld.net/images/article/2014/08/thalnic-labs-my-gesture-arnband-100374050-primary.idge.jpg>>

7 PRIEDAI

7.1 Priedas A Sukurtos programinės įrangos

Sukurta programinė įranga, bei jos programinis kodas pridėtas diske.

Aplanke „Mediko Programa“ patalpintas sukurtos mediko programos kodas. Jį rekomenduojama atsidaryti programiniu paketu „Visual Studio 2015“.

Aplanke „Testai“ patalpintas testų programinis kodas, bei „Unity“ projektai. Projektus rekomenduojama atsidaryti su „Unity 4“ programavimo paketu turinčiu „Oculus“ įskiepi. Pati programa patalpinta aplanke „Programa“, ją galima paleisti persikėlus į kompiuterį su Windows operacine sistema.

7.2 Priedas B Sveikų tiriamųjų virtualios realybės testų rezultatai.

Tiriamasis	Lytis	Amžius, metais	Statinis SVV testas, (laipsniai)	Dinaminis SVV testas (pagal laikrodžio rodyklę), (laipsniai)	Dinaminis SVV testas (prieš laikrodžio rodyklę), (laipsniai)	Galvos pokrypio testas, (laipsniai)
T1	v	25,0	-0,7±0,7	-2,7±2,3	-3,2±1,7	0,6±1,4
T2	v	25,0	-0,6±0,3	-1,4±0,2	0,6±0,6	0,7±1,3
T3	m	25,0	-1,3±0,7	7±2,3	-6,3±0,7	2,1±2,1
T4	m	27,0	0,3±0,8	7,9±2,6	-4,4±2,3	4,6±1,8
T5	m	27,0	0,2±0,4	-0,2±1,5	3,4±2,4	1,5±1,4
T6	m	25,0	-0,6±0,9	-0,8±0,7	1±0,4	3,2±0,9
T7	v	26,0	0,6±0,5	-0,5±0,6	2±0,6	-0,1±0,27
T8	m	26,0	-0,2±0,8	-1,1±0,6	-3,1±0,4	-0,5±1,5
T9	m	26,0	-0,2±0,5	0,7±0,4	3,2±0,6	-0,5±1,3
T10	m	29,0	1±1,2	-3,7±6,9	3,6±1,8	4,3±3,5
T11	v	27,0	0,9±1,4	-4,7±6,9	-0,2±2,4	2,4±2,7
T12	m	25,0	0,4±1,8	-2,2±4,5	0,5±1,8	-2,3±8,9
T13	m	26,0	1,8±0,7	1,8±0,8	3,9±1,8	-0,2±2,6
T14	v	28,0	-1,4±3,6	-2±4,3	-0,8±3	-0,1±2,3
T15	m	26,0	-1,6±3,8	-1,1±3,6	2,1±2,4	0,7±1,7
T16	m	27,0	0,2±2,1	-1,9±4,1	0,9±1,7	3±1,4
T17	m	27,0	3,1±1	-5,2±7,9	7,8±5,8	2,5±1,7
T18	m	27,0	2,3±0,4	1,4±0,8	2,2±0,6	4,6±2,7
T19	m	25,0	1,5±0,9	-0,8±3,1	2,9±1,1	0,1±2,3
T20	m	28,0	-1,2±3,6	-9,6±12,9	2,1±4,8	5,6±5
T21	m	25,0	1,8±0,6	-0,1±3,3	5,6±4,2	1±3,1
T22	m	27,0	-0,3±3,6	-0,1±2,4	1,6±0,8	4,9±3,1
T23	m	27,0	1,9±0,4	-9,7±11,9	5,8±5,3	-2,5±5
T24	m	27,0	-1,3±3,6	-0,1±2,4	1,6±0,8	4,9±3,1
T25	v	26,0	0,4±1,8	-0,9±3,1	0,8±2,3	0,6±2,8
T26	v	26,0	2,9±0,9	0,2±2	1,6±0,7	0,2±2,2
T27	v	33,0	-0,5±2,8	-0,2±2,5	1,9±0,9	3,1±6,5
T28	v	25,0	0,7±1,6	-3,6±5,9	3,2±1,3	3,2±6,1
T29	v	27,0	0,1±2,2	-0,1±2,4	0,8±1,4	-0,1±2,3
T30	m	26,0	0,2±2,1	-0,5±3,1	0,6±1,7	1,1±2,4
T31	m	26,0	0,2±2,1	-2,1±4,4	1,5±1	-0,7±3
T32	m	26,0	-0,9±3,2	6,2±4,1	-2±4,4	-1,8±4,1
T33	m	23,0	2,6±0,6	-3,4±6,4	1,7±0,8	5,6±4,7
T34	m	25,0	0,4±1,8	-0,1±2,4	2,8±0,8	6,8±4,8
T35	m	23,0	0,2±2	-6,3±9	1,5±1,2	0,3±3,5
T36	m	23,0	2,8±0,9	-0,5±4,1	3,7±2,7	3,7±2,4
Vidurkiai			0,4±1,6	-1,2±3,8	1,4±1,9	1,6±3