



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

BIOMECHANIKOS KATEDRA

Inga Maskeliūnaitė

ŽMOGAUS PUSIAUSVYROS PARAMETRŲ TYRIMAS

RESEARCH OF THE PARAMETERS OF HUMAN POSTURAL BALANCE

Baigiamasis magistro darbas

Biomechanikos studijų programa, valstybinis kodas 62109T104

Medicininės technikos specializacija

Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
BIOMECHANIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Julius Griškevičius

(Vardas, pavardė)

2009-

(Data)

Inga Maskeliūnaitė

ŽMOGAUS PUSIAUSVYROS PARAMETRŲ TYRIMAS
RESEARCH OF THE PARAMETERS OF HUMAN POSTURAL BALANCE

Baigiamasis magistro darbas

Biomechanikos studijų programa, valstybinis kodas 62109T104

Medicininės technikos specializacija

Mechanikos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas dr. Julius Griškevičius

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2009

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Mechanikos fakultetas

Biomechanikos katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data 2009-....-....

Biomechanikos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Žmogaus pusiausvyros parametrų tyrimas**

Autorius **Inga Maskeliūnaitė**

Vadovas dr. **J. Griškevičius**

Kalba

☒ X

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Baigiamajame darbe aptariami žmogaus pusiausvyros parametrai. Išanalizuoti mokslo darbai, tiriantys įvairius faktorius ir parametrus, apibūdinančius bei turinčius įtakos žmogaus gebėjimui išlaikyti pusiausvyrą, išnagrinėti pusiausvyros matavimo metodai ir naudojamos priemonės. Eksperimentiškai atliktas tyrimas, kurio metu buvo nustatinėjami galvos insultą patyrusių asmenų ir sveikų asmenų pusiausvyros parametrai, naudojant pagreičio jutiklius ir jėgos platformą. Atlikta statistinė duomenų analizė. Sudarytas žmogaus pusiausvyros dinaminis ir matematinis modelis, kuris įvertins pusiausvyros stabilumo ribas.

Darbo apimtis 61 lapas teksto be priedų, 32 paveikslai, 1 lentelė, literatūros šaltiniai 48.

Prasminiai žodžiai: pusiausvyra, posturografija, amplitudė, kojų spaudimo santykis, stabilumas.

Vilnius Gediminas Technical University

Faculty of **Mechanics**

Department of **Biomechanics**

ISBN ISSN

Copies No.

Date 2009-....-....

Biomechanics study program master thesis.

Title **Research of the parameters of human postural balance**

Author **Inga Maskeliūnaitė**

Academic supervisor **dr. J. Griškevičius**

Thesis language

☐

Lithuanian

☒

Foreign (English)

Annotation

In the final thesis the human balance parameters are discussed. Scientific works exploring the various factors and parameters, which characterize and influence the human's ability to maintain balance, are analyzed, researching the balance measurement methods and instruments used. Experimental study that was determined for the head stroke experienced and healthy persons balance settings using acceleration sensors and the force platform. A statistical analysis of the data is conducted. Human balance and dynamic mathematical model that will assess the balance between the stability limits is composed.

Work size - 61 p. text without annexes, 32 illustrations, 1 tables, 48 bibliographic sources.

Keywords: balance, posturography, amplitude, ratios of pressure legs, stability.

TURINYS

ĮVADAS	8
1. Žmogaus kūno pusiausvyra.....	9
1.1. Pusiausvyros tipai	9
1.2. Pusiausvyrai įtakos turintys veiksniai	10
1.3. Pusiausvyros valdymas	12
1.4. Žmogaus pusiausvyros sutrikimų klasifikacija	14
1.5. Žmogaus kūno pusiausvyros tyrimai. Žmogaus statika	16
1.6. Rombergo testas.....	17
1.7. Posturografija.....	18
1.8. Posturograma	21
1.9. Posturogramos analizavimo metodai	22
1.10. Patologijos ir amžiaus įtaka žmonių pusiausvyrai	26
1.11. Apibendrinimas ir darbo užduočių formavimas.....	34
2. Eksperimentinis žmogaus pusiausvyros parametrų tyrimas.....	35
2.1. Tiriamieji	35
2.2. Tyrimo metodika.....	35
3. Žmogaus pusiausvyros dinaminio modelio sudarymas	37
3.1 Įvadas	37
3.2 Dinaminio modelio sudarymas	37
3.3. Žmogaus kūno pusiausvyros stabilumo ribos	42
4. Duomenų analizė	44
4.1. Jėgos plokštės registruojami parametrai	44
4.2. Pagreičių jutiklių registruojami parametrai.....	48
4.3. Amplitudės skaičiavimai naudojant kairės ir dešinės kojos spaudimo jėgos parametrus.....	53
IŠVADOS	57
LITERATŪRA	58
PRIEDAI.....	61

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Pusiausvyros kontrolės komponentai	12
3 pav. Žmogaus kūno masės centras	16
4 pav. MC judėjimas atliekant fizinius.....	17
5 pav. Statinės posturografijos metodas vienpusei stovėsenai tirti	19
6 pav. Posturogramų vaizdavimo būdai	21
7 pav. a – žmogaus kūnas pusiausvyros išlaikymo požiūriu laikomas atvirkštine švytuokle; b – žmogaus kūnas, sudarytas iš daug vertikaliai išdėstytų grandžių.....	22
8 pav. Atvirkštinės švytuoklės modelis.	23
9 pav. Modeliuojami kintamieji ir jų išvestinės	24
10 pav. D. A. Winter aprašytas stovėsenos modelis.....	24
11 pav. Dinaminis žmogaus modelis.	25
12 pav. Matavimo schema	36
13 pav. Stovinčio žmogaus dinaminis modelis.	38
14 pav. Žmogaus mechaninė - dinaminė sistema.....	39
16 pav. Sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis užsimerkus.....	45
17 pav. Sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis užsimerkus.....	45
18 pav. Sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus.....	45
19 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis atsimerkus.....	46
20 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis užsimerkus.....	46
21 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus	47
22 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių ir sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis atsimerkus.....	47
23 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių ir sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis užsimerkus.....	48
24 pav. Asmenų patyrusių smegenų insultą amplitudės svyravimai x ir y kryptimis stovint atsimerkus.....	49
25 pav. Asmenų patyrusių smegenų insultą amplitudės svyravimai X ir Y kryptimis stovint užsimerkus.....	49
26 pav. Sveikų asmenų amplitudės svyravimai X ir Y kryptimis stovint atsimerkus.....	50
27 pav. Sveikų asmenų amplitudės svyravimai X ir Y kryptimis stovint užsimerkus	50
28 pav. Sveikų asmenų posturograma stovint atsimerkus ir užsimerkus	51

29 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių asmenų posturograma stovint atsimerkus ir užsimerkus ..	52
30 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių asmenų svyravimo amplitudė Y ašimi stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus	53
31 pav. Sveikų asmenų svyravimo amplitudė Y ašimi stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus	54
32 pav. Stabilumo ribos Y ašimi. 1 - minimalios reikšmės; 2 – maksimalios reikšmės	55

IVADAS

Tyrimo objektas - žmogaus kūno pusiausvyra ir ją apibūdinantys parametrai bei gebėjimą išlaikyti pusiausvyrą įtakos turintys faktoriai.

Darbo tikslas ir uždaviniai - išnagrinėti žmogaus kūno pusiausvyros analizės ir matavimo metodus bei naudojamas priemones. Sudaryti žmogaus pusiausvyros dinaminį modelį ir jį taikant ištirti stabilumo ribas. Eksperimentiškai atlikti žmogaus pusiausvyros ramiai stovint atmerktomis ir užmerktomis akimis tyrimus, priklausomai nuo sutrikimo, panaudojant akcelerometriją ir pusiausvyros įvertinimo platformą. Atlikti statistinę eksperimentinių duomenų analizę.

Temos naujumas - sudarytas žmogaus pusiausvyros dinaminis modelis; naudojant akcelerometriją bei pusiausvyros įvertinimo platformą atliktas eksperimentinis žmogaus pusiausvyros parametrų įvertinimas.

Temos aktualumas - pusiausvyra yra žmogaus gebėjimas išlaikyti stabilią statinę kūno padėtį arba išlaikyti reikiamą kūno padėtį atliekant įvairius judesius atskiromis kūno dalimis bei judant įvairiu greičiu visam kūnui. Pusiausvyrą valdo šios sistemos: vestibulinis aparatas, nustatantis kūno judėjimo kryptį ir pagreitį, veikiant žemės traukos jėgai; regos sistema, nustatanti kūno padėtį aplinkoje; somatosensorinė sistema, informuojanti apie atskirų kūno dalių tarpusavio padėtį. Žmonės, patyrę galvos smegenų insultą, susiduria su daugybe sutrikimų: izoliuotų valingų judesių generavimo, raumenų darbo koordinacijos, biomechaninių skeleto ir raumeninės sistemos struktūrų tarpusavio santykio, raumens fiziologijos, regos ir vestibulinio aparato, psichologinių ir socialinių, taip pat patiria skausmą. Visi šie sutrikimai kiekvienas atskirai ar kartu su kitais turi įtakos pusiausvyrai. Sutrikusios pusiausvyros atstatymas ir jos lavinimas - sudėtingas ir ilgas procesas, reikalaujantis aktyvaus paciento dalyvavimo jame.

Žmogaus kūno pusiausvyros tyrimai gali padėti nustatyti pusiausvyros stabilumo ribas ir tai įtakos turinčius faktorius, padėti išaiškinti pusiausvyros valdymo mechanizmą bei padėti tiksliau diagnozuoti įvairius funkcinis sutrikimus, įvertinti reabilitacijos ir gydymo efektyvumą.

Tyrimo metodai - naudojant akcelerometrijos metodą ir jėgos platformą (MTD - balance) atliktas eksperimentinis pusiausvyros stabilumo tyrimas. Gauti tyrimo duomenys apdoroti taikant skaitmeninės ir statistinės analizės metodus MATLAB 7.1 ir MS EXCEL programiniais paketais.

Darbo mokslinė vertė - sudarytas žmogaus pusiausvyros dinaminis modelis, įvertinantis žmogaus pusiausvyros stabilumo ribas; naudojant akcelerometriją bei pusiausvyros įvertinimo platformą atliktas eksperimentinis žmogaus pusiausvyros parametrų įvertinimas.

Darbo aprobacija - darbas buvo pristatytas 10 - joje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas - Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2009 m. balandžio 23-24 d.

1. Žmogaus kūno pusiausvyra

Žmogaus koordinacija ir orientacija erdvėje priklauso nuo pusiausvyros, regos, judėjimo analizatorių ir jų treniruotumo.

Koordinacija - tai organų ir sistemų veiklos darna, kurią lemia jaudinimo ir slopinimo procesų derinimas CNS. Judesio koordinacija - žmogaus gebėjimas greitai išmokti naujus judesius, juos jungti į derinius, tiksliai atlikti standartinėmis ir besikeičiančiomis sąlygomis. Nervinių impulsų siunčiamų raumenims stiprumas, tvarka ir dažnumas. Koordinacija - fizinė ypatybė, kuri apima pusiausvyrą.

Pusiausvyra - tai koordinacijos rūšis, priklausoma nuo išvalgumo jutimų ir tarpraumeninės koordinacijos darnos. Pusiausvyra apibūdinama kaip žmogaus sugebėjimas išlaikyti stabilią statinę kūno padėtį arba išlaikyti reikiamą kūno padėtį atliekant įvairius judesius atskiromis kūno dalimis bei judant įvairiu greičiu visam kūnui. Mokslinėje literatūroje pusiausvyra apibrėžiama kaip gebėjimas išlaikyti kūno svorio centrą virš atramos ploto, priešinant gravitacinių ir kitų išorinių ar vidinių jėgų veikimui.

1.1. Pusiausvyros tipai

Pusiausvyra skirstoma į 2 pagrindines rūšis:

1) Statinė pusiausvyra - gebėjimas nejudant išlaikyti pastovią kūno padėtį reikiamomis pozomis S. Stonkaus sudarytame „Sporto terminų žodyne“ (2002), o pagal Sharkey ir Gaskill (2006) yra gebėjimas išlaikyti pusiausvyrą esant nejudamoje padėtyje.

2) Dinaminė pusiausvyra - gebėjimas išlaikyti ir atgauti pusiausvyrą atliekant judesius, veiksmus ir jų derinius, taip pat veikiant įvairioms išorės jėgoms (Stonkus 2002), o pagal Sharkey ir Gaskill (2006) yra gebėjimas išlaikyti pusiausvyrą atliekant įvairius judesius. Dinaminę pusiausvyrą dar galima skirstyti į pusiausvyrą atliekant judesius standartinėmis sąlygomis tiksliai numatoma tvarka ir pusiausvyrą, kuri pasireiškia judant kūnui besikeičiančiomis sąlygomis [47].

Abu pusiausvyros tipai priklauso nuo gebėjimo panaudoti signalus, ateinančius iš regėjimo ir vidinės ausies receptorių bei receptorių, esančių raumenyse, sąnariuose. Pusiausvyra didžia dalimi yra tam tikra specifinė užduotis.

Tačiau statinė ir dinaminė pusiausvyros tarpusavyje neturi glaudaus ryšio. Pavyzdžiui, žmogus, sugebantis labai gerai išlaikyti statinę pusiausvyrą, negali atlikti paprasto judesio, arba žmogus sugebantis stovėti ant vienos kojos, gali nesugebėti tinkamai nusileisti slidėmis nuo kalno ir t. t.

Pusiausvyra dar gali būti skiriama kaip teigia R. C. Schafer (1987), M. Ferdjallah ir kt. (1999) ne tik į statinę bei dinaminę, tačiau ir į aktyvią bei pasyvią, atsižvelgiant į raumenų sistemos darbą, t. y. stabilumo išlaikymą. Pusiausvyra, kuriai išlaikyti reikia raumenų jėgos, vadinama aktyvia, o pusiausvyra, kuriai esant visi kūno segmentų gravitaciniai centrai išsidėstę taip, kad sąnarių paviršių neveikia gravitacinės jėgos, pasyvia. Pastaroji pusiausvyros rūšis nepasireiškia, kai žmogus užima natūralią stovimą padėtį. Ilgai stovinčio žmogaus kūno padėtis paprastai yra asimetriška [16].

Periodiškai keisdamas kūno padėtį, žmogus reliatyviai išlaiko pastovią kūno pozą. Žymiausi šios srities tyrėjai M. Duarte, V. Zatsiorsky, M. Guerraz, C. de Luca teigia, kad kūno padėties pokyčius ramiai stovint gali sukelti kojų veninė stazė. Remiantis kita hipoteze, svorio perkėlimas nuo kojos ant kojos ilgą laiką ramiai stovint gali būti pagalbinė sąnarių skysčio judėjimo priemonė. Taigi įprastas stovėjimas nėra paprasčiausias mechaninis procesas. Jo metu vyksta aktyvi subjekto ir aplinkos tarpusavio sąveika, kuri gali kisti priklausomai nuo kūno padėties pokyčių ir aplinkos poveikio [16, 45]. Stovėjimo metu yra apkraunami raumenis labiau nei sėdimoje padėtyje. Stovėjimas - tai sustabdytas kritimas. Kai yra stovima padėtis, žmogus tarsi krinta į priekį, bet raumenys įsitempia ir neleidžia to daryti.

1.2. Pusiausvyrai įtakos turintys veiksniai

Nagrinėjant žmogaus kūno pusiausvyrą bei tam tikrų tipų judesius, vartojamos sąvokos: kūno poza, kūno padėtis, pusiausvyros pastovumo laipsnis.

Kūno poza - tam tikrų kūno grandžių tarpusavio padėtis. Žmogus išlaiko pozos pusiausvyrą, kai kūno masių centro vertikali projekcija yra atramos plote. Kai ši projekcija yra už atramos ploto, kūnas praranda pusiausvyrą ir žmogus griūva.

Kūno padėtį apibūdina kūno grandžių išsidėstymas atramos atžvilgiu.

Pusiausvyros pastovumo laipsnis apibūdina pozos stabilumą, t. y. kaip greitai, paveikus išorinėms jėgoms, kūnas praras pusiausvyrą. Pusiausvyros pastovumas priklauso nuo atramos ploto, bendrojo masių centro aukščio, pastovumo kampo ir pastovumo momento. Pastovesnę pusiausvyrą turės didesnę atramos plotą turintis kūnas.

Pusiausvyros valdyme dalyvauja sistemos:

1. Vestibiulinis aparatas, kuris nustato kūno judėjimo kryptį ir pagreitį, veikiant žemės traukos jėgai.
2. Regos sistema, kuri nustato kūno padėtį aplinkoje.
3. Somatosensorinė (propriocepcinė) sistema, kuri informuoja apie atskirų kūno dalių tarpusavio padėtį.

Biomechaninės pusiausvyros sąlygos:

1. Pusiausvyra priklauso nuo atramos ploto ir masių centro aukščio. Kūno masės centras turi būti virš atramos ploto. Kuo didesnė atrama, tuo didesnis pastovumo laipsnis. Kūno masės centras turi būti žemiau atramos.

2. Priklauso nuo pozos (tarpusavio dalių išsidėstymo).

Sugebėjimas išlaikyti kūno pusiausvyrą yra savybė, apie kurią paprastai negalvojame. Kūno svorio centrus reikia nuolat išlaikyti tarp atramos taškų, o žmogus paprastai turi tik du atramos taškus. Vienas iš svarbiausių sąnarių yra čiurnos sąnarys, turintis didžiausią sukimosi momentą. Atliekant kiekvieną valingą judesį, keičiama svorio centro padėtis ir pusiausvyra. Centrinė nervų sistema (CNS) numato tai, parengdama pirminę motorinę programą.

Pusiausvyros kontrolės sistema apima daugybę procesų, kuriuos būtų galima suskirstyti į dvi skirtingas, tačiau tarpusavyje susijusias grupes:

1. Žvilgsnį stabilizuojanti sistema, užtikrina žvilgsnio krypties ir regėjimo aštrumo stabilumą atliekant aktyvius galvos ir kūno judesius. Žvilgsnio stabilizacija ir vestibulinis - okuliarinis refleksas (VOR) dažnai minimi, kaip sinonimai, nors VOR tėra vienas iš žvilgsnio stabilizavimo komponentų.

2. Padėtį stabilizuojanti sistema atsako už pusiausvyros palaikymą stovint ir aktyviai judant.

Šios sistemos tarpusavyje susijusios, kadangi žvilgsnio stabilizacija yra neįmanoma, jei nėra stabilizuojama galva ir akys, tuo tarpu, tikslus matymas, priklausantis nuo žvilgsnio stabilizacijos, yra svarbus padėtį kontroliuojantis faktorius.

Žvilgsnio stabilizacija priklauso nuo šių komponentų sąveikos:

1. Informacijos, apie žvilgsnio kryptį iš vestibulinio aparato ir regos analizatoriaus, tarpusavio dermės.

2. Vertikalius ir horizontalius akių judesius kontroliuojančių akių raumenų.

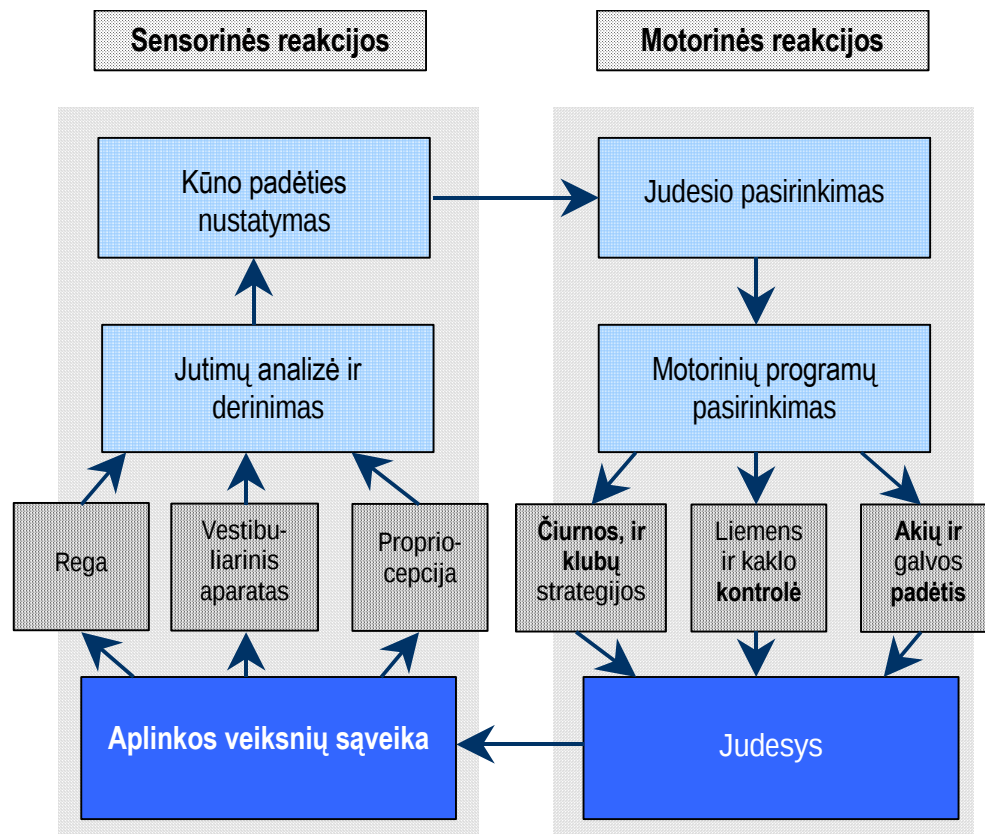
3. Galvos smegenų funkcinių galimybių integruoti motorinius ir sensorinius žvilgsnio kontrolės mechanizmus.

Padėties pusiausvyros išlaikymas yra sudėtingas procesas, priklausantis nuo trijų svarbiausių komponentų sąveikos (1 pav.).

1. Informacijos, apie kūno ir jo segmentų orientaciją iš regos analizatoriaus, vidinės ausies vestibulinio aparato ir propriocepinių jutimų, kylančių dėl kontakto su atrama, dermės.

2. Motorinių reakcijų, koordinuojančių pėdų, kojų ir liemens raumenų veiklą.

3. Galvos smegenų funkcinių galimybių integruoti minėtus sensorinius ir motorinius procesus bei gebėjimo juos modifikuoti ir pritaikyti kintančioms aplinkos sąlygoms [34].



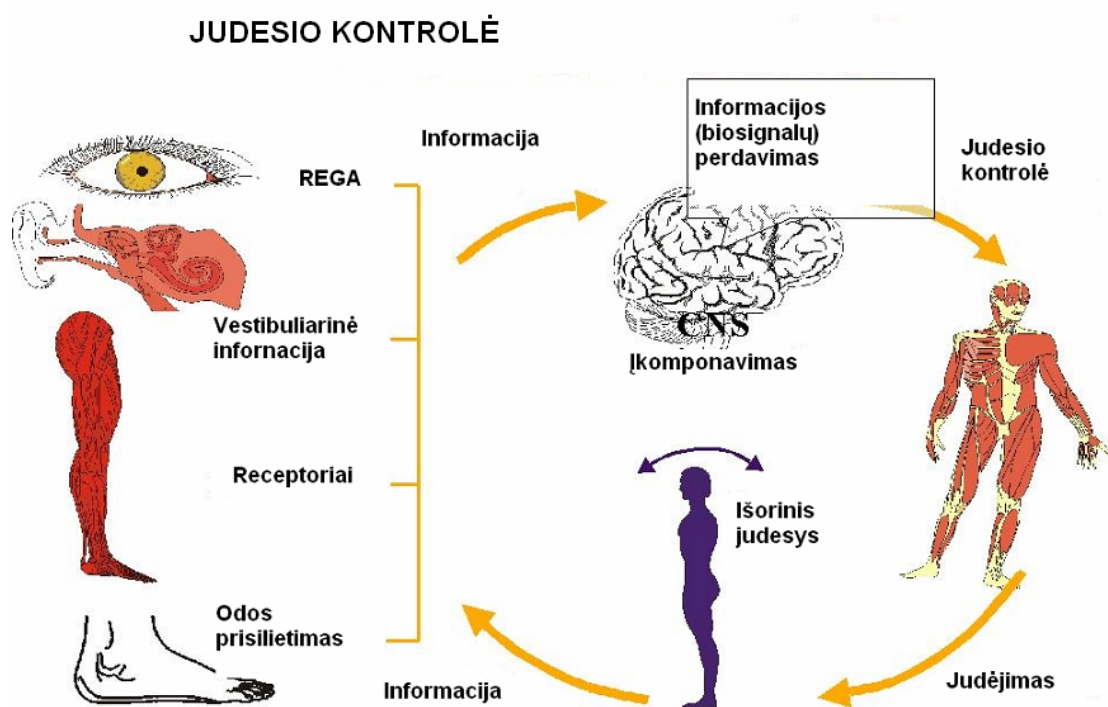
1 pav. Pusiausvyros kontrolės komponentai

1.3. Pusiausvyros valdymas

Norint išlaikyti kūno padėties stabilumą ir garantuoti reikiamą kūno segmentų orientaciją, paremtas griaučių raumenų ir nervų sistemos sąveika. Griaučių raumenų komponentai, lemiantys pusiausvyros stabilumą, yra judesių amplitudė, stuburo lankstumas, raumenų mechaninės savybės, biomechaninė kūno segmentų tarpusavio sąsaja (Juodžbalienė, Muckus, 2006).

Pusiausvyrą įtakoja fiziologiniai veiksniai, pusiausvyros organai (smegenėlės, vidinė ausis), raumenų receptoriai (verpstės ir goldžio aparatai, verpstės - reaguoja į tempimą, goldžio - į suspaudimą), rega. Pusiausvyra stabilizuojama naudojantis vizualine, vestibuline ir proprioreceptine informacija. Optimali regos ir somatosensorinių impulsų sąveika laiduoja visavertę kūno segmentų orientacijos ir stabilumo kontrolę. Esant vizualinės informacijos trūkumui, pusiausvyros, kūno segmentų padėties kontrolė ir atsakas į aplinką trinka. Judesių valdymo ir pusiausvyros reikšmė žymiai didesnė vyresnio amžiaus žmonėms bei persirgusiems ar sergantiems nervų sistemos ligoms (ypač insultu). Tais atvejais griaučių raumenų koordinacijos ir bendros kūno pusiausvyros sumažėjimas arba visiškas praradimas pastebimas labai aiškiai. To įtakoje pablogėja žmogaus biopsichosocialinės funkcijos ir adaptaciją supančioje aplinkoje bei visuomenėje.

Sensorika aktyviai dalyvauja motorikos valdymo procese: koreguoja judesių valdymo aukščiausių lygių komandas, dalyvauja suvokiant atliekamus judesius ir aplinką, atlieka stimulo refleksiniams judesiams vaidmenį. Rega galima identifikuoti objektus ir jų judėjimą aplinkoje, ji teikia informaciją apie aplinką, kūno segmentų padėtį ir aplinkos judėjimą, kitų kūno dalių atžvilgiu. Tą pačią informaciją priima ir kiti jutimo organai - pusiausvyros aparatas vidinėje ausyje, taip pat raumenų verpstės, goldžio organai, sąnario kapsulės receptoriai. Tačiau regos sutrikimų neturintys asmenys judėdami erdvėje veiksmingiausiai naudoja aferentinius regos impulsus. Sutrikus regai, motorinės organizmo reakcijos yra kontroliuojamos informacijos, gaunamos per lytėjimo, klausos ir kitus pojūčius, o tuo tarpu normaliai regintiems tokio pobūdžio informacija tik papildo regimąją. Propriocepcinės informacijos vaidmuo kontroliuojant normaliai reginčiųjų psichomotorines reakcijas ir stabilumą yra minimalus, palyginti su vizualine. Tačiau išnykus arba labai sumažėjus vizualinei informacijai, jos stygius reguliuojant pusiausvyrą, koordinaciją, atskirų kūno dalių padėties ir judėjimo erdvėje suvokimą gali būti kompensuojamas propriocepcinės, lytėjimo ir klausos funkcijos sustiprėjimu, kuris dažniausiai gali būti pasiekiamas bendrųjų ir specialiųjų fizinių pratybų metodais. Visą iš receptorių gaunamą informaciją priima ir tvarko centrinė nervų sistema, siųsdama nervinius impulsus į raumenis, kurie susitraukdami ir atsipalaiduodami padeda išlaikyti pusiausvyrą (2 pav.) [1].



2 pav. Pusiausvyros, judesio, koordinacijos valdymo - stabilizavimo schema

Daugelį metų pusiausvyros pratybos buvo taikomos reabilitacijos metu. Dabar vis dažniau jos yra taikomos, norint išvengti traumų. Todėl ankstyva pusiausvyros sutrikimų diagnozė ir nustatymas yra svarbūs vyresnių žmonių funkcinio mobilumo mažėjimo sulėtinimui bei kritimų prevencijai. Kritimo, griuvimo, kaulų lūžių bei įvairių darbo ir buities traumų dažniausia priežastis - sutrikusi pusiausvyra ir koordinacija. Sutrikdžius kūno pusiausvyrą, pasireiškia reakcijos, grąžinančios kūną į pradinę padėtį. Teigiama, kad pagrindinis, stabilizuojantis pusiausvyrą kūno schemas komponentas yra žmogaus BMC (bendrojo masių centro) koordinatės padėtis. Yra nustatyta, kad sutrikdžius pusiausvyrą įsijungia „kinematinė strategija“, kurios dėka kinta kūno segmentų padėtis. Tai skatina kūno BMC judėjimą ir išlaikymą atramos ploto ribose [31].

Centrinis matymas įgalina identifikuoti aplinkos objektus, kūno dalis ir jų parametrus. Periferinis matymas įgalina identifikuoti aplinkos objektų ir kūno dalių padėties pokyčius vieni kitų atžvilgiu, suteikdamas sąmoningai nepastebimą ir nesuvokiamą informaciją, tačiau svarbiausią motorikos valdyme. Centrinis ir periferinis matymas sąveikauja pusiausvyros kontrolėje [36]. Periferinis matymas labiau įtakoja svyravimus pirmyn - atgal nei lateralius svyravimus. Tuo tarpu centrinis matymas dalyvauja svyravimų kontrolėje abejomis kryptimis. Taigi, daugelis autorių [22], nagrinėjančių regos įtaką pusiausvyros kontrolei teigia, kad didžiausias indėlis į pusiausvyros kontrolę stovint, tenka centriniam matymui. Sutrikus centriniam matymui, pasireiškia didesni lateraliniai svyravimai [37].

1.4. Žmogaus pusiausvyros sutrikimų klasifikacija

Esant žmogaus judėjimo, koordinacijos, judesių valdymo, vikrumo, galvos svaigimo sutrikimams, alpmui (sąmonės netekimas) buvo pradėta nagrinėti žmogaus kūno pusiausvyra. Literatūroje pateikiamos įvairios fizinių ir judėjimo sutrikimų klasifikacijos. Dažniausiai šie sutrikimai apibūdinami kaip fiziniai, ortopediniai, rečiau kaip motorikos ar judėjimo. Lietuvoje vadovaujamasi Sutrikimų klasifikacija (1995), kurioje septintąją grupę sudaro fiziniai ir judėjimo sutrikimai. Klasifikacijoje pateikiamos tokios fizinių ir judėjimo sutrikimų grupės:

- β bendrosios motorikos sutrikimai;
- β smulkiosios motorikos sutrikimai;
- β judesių koordinacijos sutrikimai;
- β lokomocijos (judėjimo) sutrikimas, kuris gali būti nuo nežymaus iki visiško negalėjimo judėti;
- β apraksijos ir dispraksijos (nesugebėjimas arba iš dalies sutrikęs gebėjimas atlikti tikslius judesius, kai nėra paralyžiaus);
- β skoliozė (stuburo išlinkimas į šoną);

- β kūno dalių deformacijos;
- β kiti fiziniai ir judėjimo sutrikimai.

Neretai žmogus turi ne vieną, bet keletą išvardytų sutrikimų. Bendriausias literatūroje randamas pavadinimas yra fizinės sveikatos sutrikimai. Fizinis ir judėjimo sutrikimus gali lemti ortopediniai (judamojo aparato deformacijos, kaulų ir raumenų sistemos funkcijų sutrikimai), neurologiniai (CNS ir periferinės nervų sistemos) pažeidimai, chroninės, negalę lemiančios ligos ir pan. (Ambrukaitis, 2003).

Ligos priskiriamos prie judamojo aparatu funkcijų sutrikimo: kaulų lūžiai; ostitas, panostitas; kaulų uždegimas; augimo sutrikimai ir kaulų anomalijos; osteoporozė; kremzlės sutrikimai antkaulis; kaulų čiulpų sutrikimai; klinikinė osteologija; šonkaulių, griaučių, kaulų sutrikimai; kaukolės, galvos kaulų pažeidimai; artritas; sąnarių uždegimas; reumatoidinis artritas; raumenų uždegimas ir atrofijs; klinikinė miologija; raumenų ir griaučių raumenų sistemos sutrikimai; paralyžius; cerebrinis vaikų paralyžius; judesio balanso sutrikimai; amitrofijs; miatrofijs; raumenų plyšimas; insultas; infarktas.

Literatūroje (bee, 1997 ir kt.) pateikiamos tokios fizinius ir judėjimo sutrikimus lemiančių veiksmų grupės:

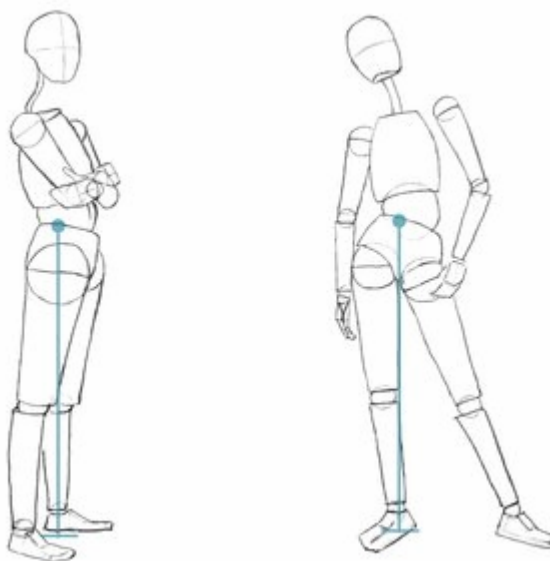
1. Prenatalinė chromosomų patologija (Dauno sindromas; Turnerio sindromas arba dvarfizmas - mažaugiškumas, Aperto sindromas, RETT sindromas ir kt.
2. Prenataliniai skaidulos trūkumai (lūpos ir gomurio nesuaugimas, galūnių neišsivystymas, įgimtos įvairių kūno dalių deformacijos ir pan.).
3. Intrauteriniai neigiami veiksniai (infekcija, radiacija, rezus konfliktas ir kiti nepalankūs veiksniai, lemiantys fizinius ir judėjimo sutrikimus).
4. Perinatalinė trauma ar infekcija (deguonies deficitas, hemoragija ir kt.).
5. Postnatalinės traumos, infekcijos, pažeidimai (chroninės ligos, galūnių praradimas ir pan.).

Žmogaus organizmui senstant bet kurio pusiausvyros komponento veiklos nusilpimas mažina stabilumą ir trikdo eiseną (Gauchard, 2003), t. y., senėjimo procesas. Tai pat judesio ir padėties sutrikimų turi ir vaikai jie išsiskiria iš savo bendraamžių fizine raida. Jie negali laisvai judėti, jų kūno judesiai yra nekoordinuoti, sutrikusi pusiausvyra. Kuo didesnis sutrikimas, tuo labiau jis pastebimas. Tokie vaikai vadinami fizinę negalią turinčiais vaikais. Pusiausvyros sutrikimai pasitaiko įvairių žmonių amžių grupėse. Todėl ankstyva pusiausvyros sutrikimų diagnozė ir nustatymas yra svarbūs vyresnių žmonių funkcinio mobilumo mažėjimo sulėtinimui, o vaikų atžvilgiu dar galima visiškai išgydyti ligą ir integruoti vaiką į normalų socialinį gyvenimą.

1.5. Žmogaus kūno pusiausvyros tyrimai.

Žmogaus statika

Žmogaus statika nagrinėja sąlygas, kuriomis žmogaus kūnas laikosi nejudėdamas. Statinėje padėtyje susidaro pusiausvyra tarp sunkio jėgos ir atramos reakcijų. Kūno statika analizuoti pradedama nuo masės centro. Bendroji masės centro padėtis priklauso nuo kūno būklės. Žmogui tiesiai stovint, bendrosios masės centras yra vidurinėje plokštumoje.

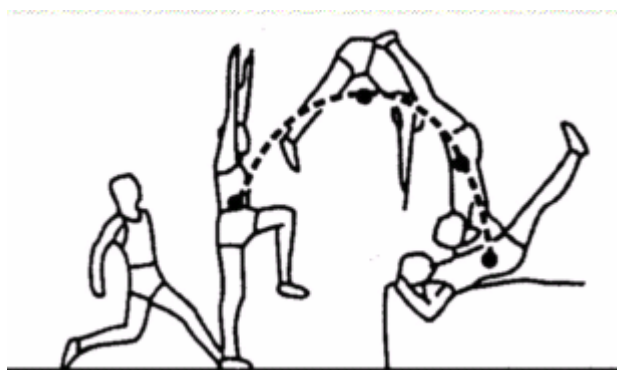


3 pav. Žmogaus kūno masės centras

Projekcinė vertikalė, nusileidžianti iš masės centro, pataiko į žmogaus plokštumą, kurią apriboja pėdos. Kai tik ši vertikalė išeina už atramos plokštumos ribų, pusiausvyra sutrinka ir žmogus virsta. Masės centro vieta priklauso nuo kūno sudėjimo, nuo jo lyties, amžiaus ir individualios įvairovės. Vyrų masės centras yra aukščiau, nes jiems būdinga masyvios pečių lanko ir krūtinės sritys; moterų žemiau, nes jų lieknesnė viršutinė liemens dalis ir masyvesnė dubens sritis. Vaikų masės centro padėtis įvairuoja priklausomai nuo amžiaus; ji reliatyviai aukščiau yra jaunesnių vaikų. Tiesiai stovint, masės centro vertikalė eina per atlantinio pakaušio sąnario skersines ašis, prieš stuburą, už klubų sąnarių ir per blauzdinių pėdos sąnarių skersines ašis. Stovėsena priklauso nuo tipingos žmogaus pasyviojo judamojo aparato konstrukcijos, kur svarbų vaidmenį turi stuburo įlinkimai ir tam tikrų raumenų grupių statinė įtampa, pasipriešinant sunkio jėgai.

Kieto kūno masės centras yra fiksuotas, tuo tarpu žmogaus kūno masės centro padėtis priklauso nuo kūno pozos. Žmogaus, stovinčio pagrindine stovėsena, MC yra antro kryžmeninio

slankstelio lygyje. Keičiantis kūno pozai, kinta ir MC padėtis. Kai kuriais atvejais, pavyzdžiui, stipriai susilenkus (šokant su kartimi į aukštį, ar atliekant salto) MC gali išeiti už žmogaus kūno ribų.



4 pav. MC judėjimas atliekant fizinius

1.6. Rombergo testas

Pusiausvyros testavimui naudojami testai ir kontroliniai pratimai. Testai turi konkrečią balų skalę, kuri yra standartizuota. Kontroliniai pratimai neturi vertinimo skalės ir yra nestandartizuoti.

Testavimų principai:

1. sumažinti atramos plotą;
2. išjungti analizatorius;
3. daryti stabilią plokštumą.

Dažniausiai yra tiriamas žmogaus gebėjimas išlaikyti pastovią vertikalią kūno padėtį bei šį gebėjimą lemiantys faktoriai.

Statinei pusiausvyrai vertinti naudojami įvairūs klinikiniai ir instrumentiniai tyrimo metodai. Vienas dažniausiai taikomų testų - neurologinis Rombergo testas, kurio metu išaiškinamas pusiausvyrą kontroliuojančių sensorinių sistemų veikimas. Siekiant išsiaiškinti kurios nors vienos sensorinės sistemos indėlį į pusiausvyros kontrolę, Rombergo testas atliekamas keičiant regimąją informaciją. Eliminavus regimąją informaciją, tiriama propriocepcijos ir vestibulinio aparato veikla. Šio pusiausvyros tyrimo metodo esmė - pusiausvyros valdymas rega [9].

Rombergo testo metu pacientas stovi suglaudęs kojas, rankos nuleistos prie šonų. Norint išsiaiškinti, kaip rega veikia pusiausvyrą ir propriocepcijos bei vestibulinės sistemos funkciją, pirmiausia pusiausvyra vertinama pacientui stovint atsimerkus, vėliau užsimerkus. Pacientas, kiek galima mažiau svyruodamas, tokią padėtį turi išlaikyti 20 sekundžių.

Galimi keli Rombergo testo variantai - skiriasi tik kojų padėtis (kojos suglaustos, pėdos vienoje linijoje (vienos kojos pirštai liečia kitos kulną) [32]. Modifikuoto Rombergo testo metu pusiausvyra vertinama pacientui atsimerkus ir užsimerkus. Pacientas išlaiko pusiausvyrą, kai pėdos nutolusios patogi atstumu, pėdos suglaustos, vienos pėdos kulnas remiasi į kitos pėdos vidinį išilginį skliautą, pėdos vienoje linijoje. Keičiant pėdų padėtį, po truputį mažinamas atramos plotas. Jei pacientas išlaiko pusiausvyrą užimdamas visas padėtis, pusiausvyra, tiksliau gebėjimas grąžinti kūno masės centro projekciją į atramos ploto ribas, vertinama stumtelint pacientą keliais pirštais bakstelėjus į krūtinkaulį. Tiek standartinio, tiek modifikuoto Rombergo testo metu pastebimas kūno svyravimas, rankų ir galvos drebulys.

Taikant pusiausvyros klaidų skaičiavimo sistemą (angl. Balance error scoring system), paciento stabilumas tiriamas analogiškais sąlygomis, tačiau šiuo atveju objektyviau skaičiuojamos klaidos, padarytos stengiantis išlaikyti pusiausvyrą [42]. Testas atliekamas pirmiausia ant kieto, vėliau ant minkšto pagrindo. Tyrimo metu pacientas laiko rankas ant juosmens, stovi ant abiejų, vėliau ant vienos kojos, pėdos vienoje linijoje. Minėtos padėties išlaikomos 20 sekundžių atsimerkus, vėliau - užsimerkus. Jei pacientas pakelia rankas nuo juosmens, atsimerkia, žengia žingsnį, atitraukia arba daugiau nei 30° kampu sulenkia šlaunį, pakelia kojos pirštus arba kulną, daugiau nei 5 sekundes iš 20 reikiamų neišlaiko padėties - skaičiuojamos pusiausvyros išlaikymo klaidos.

Tiek klinikinių statinės pusiausvyros tyrimo metodų, tiek ir daugelio instrumentinių pusiausvyros tyrimų objektas yra stovėjimas nejudant [41, 28, 17].

1.7. Posturografija

Taip pat daugeliu atveju yra naudojamas žmogaus pusiausvyrai tirti instrumentinis pusiausvyros tyrimo metodas - posturografija. Tai žmogaus kūno slėgio centro svyravimų kreivių registravimas ir jų analizė.

Galimi du posturografijos metodo variantai, kurių esmė yra biomechaninių dydžių, užtvirtinančių vertikalią pozą, tyrimas. Posturografijos privalumas, lyginant su kitais tyrimo metodais, yra tas, kad šis tyrimo metodas taikomas pusiausvyros sutrikimų diagnostikai, įvairių faktorių poveikių tyrimui bei statokinetinių žmogaus funkcijų treniravimui. Posturografija gali būti atliekama derinant įvairias pozas bei sensorinės, t. y. regimosios ir propriocepinės informacijos kitimą.

Posturograma atspindi žmogaus kūno slėgio centro svyravimus, taigi ir stabilumo laipsnį. Žmogaus stabilumas vertinamas atsižvelgiant į posturogramoje užregistruotą svyravimų amplitudę strėline ir skersine kryptimi, slėgio centro judėjimo trajektorijos ilgį bei svyravimų dažnį.

Posturografija skiriama į du tyrimo metodus:

1. dinaminė posturografija;
2. statinė posturografija.

Dinaminės posturografijos tyrimo metu kūno padėtis gali būti sutrikdoma daugybe nenuspėjamų stimulų siekiant išsiaiškinti regimosios, vestibulinės ir propriocepinės informacijos sąveiką atgaunant pirminę padėtį, t. y. žmogaus pusiausvyros parametrai vertinami kintančiomis sąlygomis.

Statinės posturografijos metodas naudojamas vienpusei stovėsenai tirti. Tyrimo metu matuojamas kiekybiškai išreikštas svyravimų greitis. Šis testas yra labai tikslus, tačiau nėra specifinis, taigi tyrimo metu pusiausvyrą gali veikti itin daug faktorių: kojos raumenų jėga, svorio pasiskirstymo kontrolė, sensorinių sistemų veikla. Šis tyrimo metodas dažniau atliekamas derinant vertikalią stovėseną su regimąja funkcija. Taip pat tyrimas atliekamas, siekiant išsiaiškinti kurios nors vienos sensorinės sistemos svarbą pusiausvyros kontrolei, keičiant regimąją informaciją. Eliminavus regimąją informaciją, tiriama propriocepcijos ir vestibulinio aparato veikla. F. Benvenuti ir kt. (1999) atlikti pusiausvyros sutrikimų tyrimai rodo, kad jėgos plokštė registruojami pusiausvyros pokyčiai padeda atskleisti sutrikimus, lemiančius nestabilumą, išaiškinti šių sutrikimų patogenezę ir įvertinti kompensacines organizmo funkcijas [33].



5 pav. Statinės posturografijos metodas vienpusei stovėsenai tirti

Tyrimo metu matuojamas ir kiekybiškai išreiškiamas svyravimų greitis. Minėtas testas yra labai tikslus. Taigi, tyrimo metu pusiausvyrą gali veikti itin daug faktorių: kojos raumenų jėga, svorio pasiskirstymo kontrolė, sensorinių sistemų veikla, judesių arba pusiausvyros palaikymo strategijos, išmokimas.

Statinės posturografijos veikimo principas: pacientas atsistoja ant platformos, kur įrengta 4 (gali būti ir daugiau) spaudimo davikliai su jėgos diapazonu nuo 0 iki 100 kg (diapazonas gali būti įvairus, priklauso nuo įrangos techninių charakteristikų). Davikliai pagamina mažą įtampą, proporcingą, kad keltų platformos aparatinę įrangą, padidinus šituos signalus, paverčia juos į skaitmeninį formatą ir siunčia informaciją į kompiuterį. Ši informacija yra pervesta į skaitmeninę formą su 16 bitų (priklausomai nuo programinės įrangos) sprendimu. Kiekvienas daviklis gauna spaudimą ar jėgą.

Norint tiksliau identifikuoti galimas pusiausvyros sutrikimo priežastis, išsiaiškinti, kaip atskiros sensorinės sistemos padeda valdyti pusiausvyrą, nustatyti svorio pasiskirstymo tarp pėdų arba pėdoje nuokrypius nuo normos ir pan., reikia taikyti objektyvius instrumentinius tyrimo metodus. Šie metodai suteikia galimybę ne tik nustatyti tam tikrų sensorinių sistemų veiklos nepakankamumą, bet ir pašalinti pasirinktą sensorinę sistemą iš pusiausvyros valdymo, norint įvertinti likusių jutimų kompensacinius pokyčius.

Derinant Rombergo testą ir statinę posturografiją, registruojami slėgio centro svyravimo rodikliai: trajektorijos ilgis, amplitudė sagitalioje ir skersinėje ašyje [42, 14]. Norint išsiaiškinti, kaip kuri nors viena sensorinė sistema padeda valdyti pusiausvyrą, Rombergo testas atliekamas keičiant regimąją informaciją. Nesuteikiant regimosios informacijos, tiriama propriocepcijos ir vestibulinio aparato veikla. Beje, Rombergo testas posturografijoje laikomas informatyviausiu testu, nusakančiu vestibulinio aparato funkcinę būklę išlaikant statinę pusiausvyrą [14].

Statinės posturografijos metodas dar yra vadinamas stabilografija. Stabilografijos metodas dėl savo paprastumo dažnai yra naudojamas laboratorijos tyrimuose ir klinikinėje praktikoje. Šiuo nesudėtingu metodu galima nesunkiai ir labai tiksliai įvertinti žmogaus koordinacijos savybes bei kūno balansą.

Dažniausiai tyrimai yra atliekami ramioje, vertikaloje padėtyje, užsimerkus ir atsimerkus. Stabilograma registruojama naudojant jėgos platformą. Stabilografijos tyrimo metu registruojama žmogaus masės centro judėjimo trajektorija ir jos parametrai: ilgis, amplitudė, svyravimų dažnis.

Stabilografijos metodu atlikti tyrimai padėjo nustatyti tikslus kūno koordinacijos parametrus, kurie leido tinkamai palaikyti kūno balansą žmonėms su:

- β dirbtine dubens sujungimo vieta;
- β dirbtiniu stuburu;
- β vaikų su cerebriniu paralyžiumi;
- β prastai girdintiems ir matantiems žmonėms;
- β žmonėms su nervinėmis patologijomis.

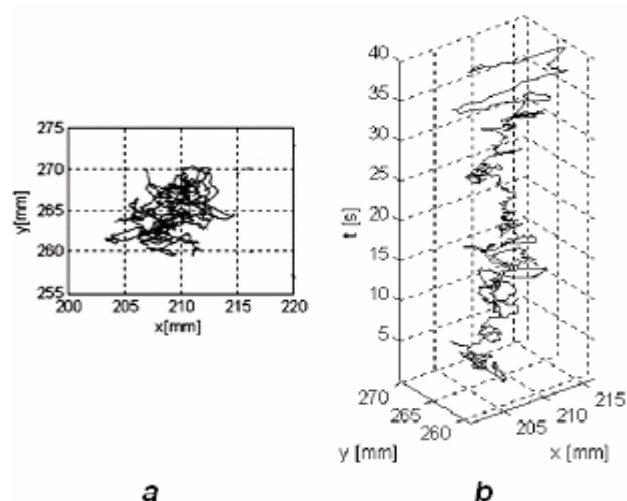
1.8. Posturograma

Posturograma užrašoma naudojant jėgos platformą, kuri matuoja slėgio centro svyravimus strėline ir skersine kryptimi, slėgio centro judėjimo trajektorijos ilgį, svyravimų dažnį bei stabilumo laipsnį. Vienas iš populiariausių ir pigiausių būdų vertinti stovėsenos stabilumą yra posturograma. 4 paveiksle pavaizduota tipinė posturograma [29].

Posturograma - tai žmogaus kūno slėgio centro svyravimų kreivių registravimas ir jų analizė. Posturograma užrašoma naudojant jėgos platformą, kuri matuoja slėgio centro svyravimus strėline ir skersine kryptimi, slėgio centro judėjimo trajektorijos ilgį, svyravimų dažnį bei stabilumo laipsnį. Atlikus tyrimus nustatyta, kad slėgio centro padėtis sutampa su žmogaus masės centro projekcijos padėtimi atramos plote.

Daugelio tyrėjų ir praktikų teigimu, slėgio centro padėtis sutampa su žmogaus masės centro projekcijos padėtimi atramos plote. Slėgio centras - tai žemės reakcijos jėgos veikimo taškas. Kieto kūno, kurio neveikia kitos jėgos, išskyrus sunkio jėgą ir atramos reakcijos jėgą, masės centro projekcijos taškas sutampa su slėgio centru. Tačiau žmogus, norėdamas išlaikyti pusiausvyrą, turi įtempti kūno padėtį palaikančius raumenis, ir tokiu būdu nuolat sukuria jėgos momentus. Žinoma, kad skirtumas tarp slėgio centro ir masės centro projekcijos padėties yra nežymus, tačiau jis nėra nereikšmingas funkciniu požiūriu, ir informacija apie šiuos skirtumus gali būti naudinga sprendžiant motorinės kontrolės klausimus.

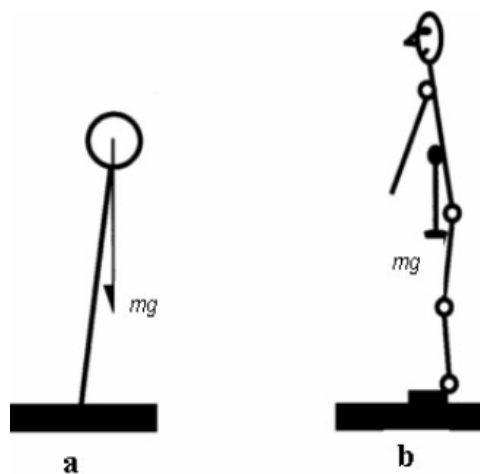
Esminis masės centro projekcijos ir slėgio centro skirtumas yra tas, kad pirmasis atspindi realų judesį, t. y. kūno svyravimus, o antrasis - atramos reakcijos jėgą.



6 pav. Posturogramų vaizdavimo būdai: a – dvimatis vaizdavimas: SC poslinkis medio - lateraline kryptimi (x) ir antero - posteriorine kryptimi (y); b – trimatis vaizdavimas: x ir y SC koordinatės, t – laikas

1.9. Posturogramos analizavimo metodai

Žmogaus kūno pusiausvyros pastovumo biomechaninei analizei naudojamas apverstos švytuoklės modelis (7 a pav.). Tokio kūno pusiausvyra iš esmės negali būti pastovi. Norint užtikrinti pusiausvyros stabilumą, turi veikti papildomos jėgos. Žmogus savo kūną vertikalioje padėtyje išlaiko veikiant raumenų jėgoms. Stabilumo biomechaninės analizės uždutis tampa dar sudėtingesnė, kadangi išilgai švytuoklės ašies išsidėstę daugybė jungčių (7 b pav.). Mechaninė sistema išlaiko pusiausvyrą, kai jos masės centro projekcija yra atramos ploto ribose. Taigi, norint užtikrinti sistemos pusiausvyrą, reikalinga tiksli jungčių judesių sąveika [34].

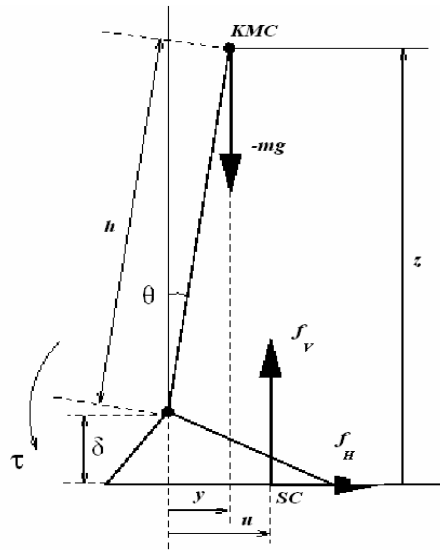


7 pav. a – žmogaus kūnas pusiausvyros išlaikymo požiūriu laikomas atvirkštine švytuokle; b – žmogaus kūnas, sudarytas iš daug vertikaliai išdėstytų grandžių

Atvirkštinės švytuoklės modelį išsamiai aprašė P. Morasso ir M. Schieppati [40] bei L. Baratto ir kiti [44]. Kūno masės centras yra viršuje ir svyruoja apie čiurnos sąnarį dėl judančio jėgos vektoriaus. 5 paveiksle parodyta, kaip P. G. Morasso ir M. Schieppati pavaizdavo šį modelį [40]. Šio jėgos vektoriaus projekcija atramos plokštumoje yra svorio centro (SC). Tokios sistemos lygtį galima užrašyti pavidalu:

$$mgy - M_a + z = I\alpha \quad (1);$$

Čia I – kūno, svyruojančio apie čiurną, masės inercijos momentas; α – kampinis pagreitis; m – kūno masė; g – laisvojo kritimo pagreitis; M_a – sukimo momentas ties čiurna; z – vidinių ar išorinių jėgų (pavyzdžiui, kvėpavimo) sukurtas sukimo momentas.



8 pav. Atvirkštinės švytuoklės modelis. KMC padėtį nusako y ; SC padėtį nusako u ; f – atramos plokštumos reakcijos jėga; θ – KMC svyravimo kampas

Ramiai stovint, sukimo momentas ties čiurna M_a turi būti lygus paviršiaus reakcijos jėgos mg momentui apie čiurną. Todėl lygybę (1) galima perrašyti:

$$mgu = mgy - I\alpha + z \quad (2);$$

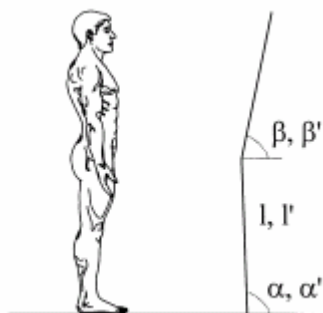
Atlikus supaprastinimus, lygybę (2) galima užrašyti taip:

$$a = \frac{g}{h_e}(y - u) + z' \quad (3);$$

o kintamuosius traktuoti taip: u – valdantysis kintamasis, y – valdomas kintamasis. Kitaip tariant, toks modelis paaiškina KMC padėtį priklausomai nuo SC padėties, t. y. žinant SC padėtį atramos plokštumoje, galima suskaičiuoti KMC padėtį ir įvertinti, ar žmogus stovi stabiliai. SC trajektorija yra netiesinė, todėl mokslininkai ją ir stovėsenos stabilumą bando paaiškinti įvairiais metodais. Toliau pateikiami keletas populiariausių literatūroje aptiktų metodų.

Stovėsenos modeliavimas naudojant miglotąją logiką. Visi aprašytieji SC judėjimo modeliai remiasi prielaida, kad kūnas juda kaip atvirkštinė švytuoklė, t. y. svyruoja apie kulčšnį, o tai toli nuo realios žmogaus fiziologijos, todėl R.Jacobs [44] pasiūlė stovėseną modeliuoti kaip trijų kintamųjų sistemą (kojos ilgį, kojos padėtį, liemens laikyseną), naudojant miglotąją logiką. 9

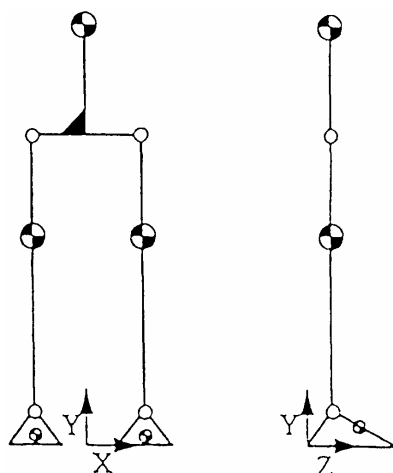
paveiksle pavaizduoti svarbiausieji kintamieji ir jų išvestinės [44]. Šiems kintamiesiems valdyti straipsnio autoriai naudoja 36 miglotosios logikos taisykles.



9 pav. Modeliuojami kintamieji ir jų išvestinės

Vis tik šis būdas susilaukia netiesioginės kritikos iš J.W. Blaszczyk ir W. Klonowski [24] bei D. Lenzi ir kitų [11], nes jie tvirtina, kad SC trajektorijos tyrimas yra žymiai perspektyvesnis nei kiti stabilios stovėsenos vertinimo būdai.

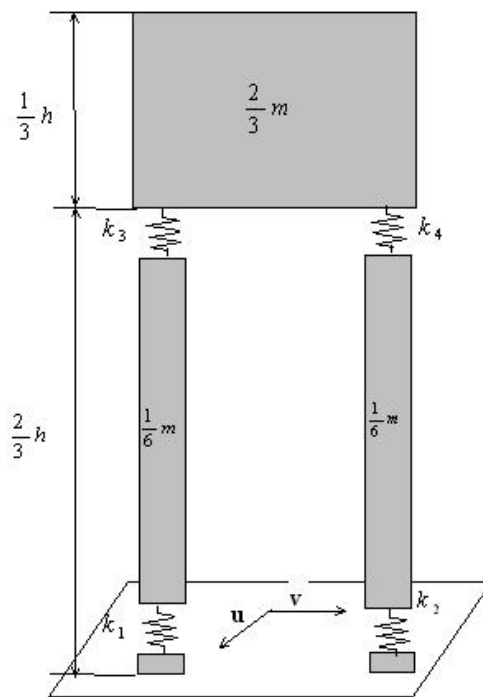
Toks gausus stabilią stovėseną aiškinančių modelių ir parametrų (L. Baratto ir kiti [29] nurodo, kad remiantis SC svyravimo matavimais atramos plokštumoje, skaičiuojami net 39 skirtingi parametrai) kiekis rodo, kad kol kas nesutariama ir nerandama geriausio metodo, galinčio aprašyti posturogramą kaip kelių ją veikiančių sistemų rezultatą.



10 pav. D. A. Winter aprašytas stovėsenos modelis, kuriame sukimo momentai yra ne tik apie čiurnas, bet ir apie klubo sąnarius, be to kūno masė nėra sutelkta viename taške

D. A. Winter darbe atvirkštinės švytuoklės modelis pristatomas kaip supaprastinimas bendresniojo stovėsenos modelio, kuris remiasi dvejomis sąnarių poromis frontalinėje plokštumoje, valdomomis keturiomis raumenų grupėmis, o sagitalinėje svyruoja apie du sąnarius (klubus ir

čiurnas). Todėl tikėtina, kad diskretinių elementų stovėsenos modelis leis tiksliau nustatyti stovėseną reguliuojančių sistemų sąveiką. Panašų diskretinių elementų modelį žmogaus eisenai modeliuoti siūlė Y. Schovanec [47]. Tai pat D. A. Winter [46] siūlomas naujas diskretinių elementų modelis pateiktas 6 pav. Modelis sudarytas remiantis nurodytomis žmogaus skeleto ir raumenyno savybėmis: du trečdaliai žmogaus kūno masės yra pakilę virš atramos plokštumos dvi trečiąsias žmogaus ūgio; žmogus stovėdamas svyruoja antero - posteriorinėje plokštumoje apie čiurnas, o medio - lateralinėje plokštumoje svyruoja perkeldamas dalį kūno svorio nuo vienos kojos ant kitos. Sudarant modelį laikomasi prielaidos, kad sistemą sudarančios dalys yra absoliučiai kieti kūnai.



11 pav. Dinaminis žmogaus modelis. Kūno masė m pasiskirsčiusi taip: $\frac{2}{3}$ kūno masės yra ties liemeniu, po $\frac{1}{6}$ tenka kiekvienai kojai. Liemuo iškeltas $\frac{2}{3}$ žmogaus ūgio h virš atramos plokštumos. u – sistemos poslinkis antero - aposteriorine kryptimi, v – sistemos poslinkis medio - lateraline kryptimi; k – sąnarių standumo koeficientai

Tikėtina, kad toks modelis tiks skeleto ir raumenyno ligų diagnostikai ar profilaktikai, taip pat kompensacinės ortopedinės technikos pritaikymui. Prieš sudarant tikslų dinaminį žmogaus modelį dar reikia išanalizuoti raumenyną, kuris dalyvauja stovint, ir išsiaiškinti, kurios raumenų grupės dirba nepriklausomai, o kurios būtinai kartu arba priešingomis fazėmis.

1.10. Patologijos ir amžiaus įtaka žmonių pusiausvyrai

Vyresnio amžiaus žmonių judėjimo sutrikimus ir griuvimus lemia daugelis veiksnių. Senyvo amžiaus žmonės griūva, sutrinka jų eisena dėl įvairių patologijų, kurias laiku diagnozavus galima pritaikyti gydymą ir išvengti traumų. Vienas iš dažniausiai minimų pagyvenusių žmonių kritimo rizikos veiksnių yra kūno padėties stabilumo sutrikimas, dėl to ir prarandama pusiausvyra. Žmogaus pusiausvyra priklauso nuo gebos integruoti daugybę sensorinę informaciją ir reguliuoti daugiasegmentės biomechaninės sistemos padėtį. Žmogaus organizmui senstant bet kurio pusiausvyros komponento veiklos nusilpimas mažina stabilumą ir trikdo eisena [21]. Todėl ankstyva pusiausvyros sutrikimų diagnozė ir nustatymas yra svarbūs vyresnių žmonių funkcinio mobilumo mažėjimo sulėtinimui bei kritimų prevencijai [8].

Atlikti pusiausvyros sutrikimų tyrimai rodo, kad jėgos plokšte registruojami pusiausvyros pokyčiai padeda atskleisti sutrikimus, lemiančius nestabilumą, išaiškinti šių sutrikimų patogenezę ir įvertinti kompensacines organizmo funkcijas. Atlikta daug tyrimų, kuriais nustatyti įvairūs organizmo funkcinės būklės pokyčiai, vykstantys žmogui senstant. Atliekant šiuos tyrimus dažniausiai naudojami klinikiniai funkcinės būklės įvertinimo testai, patogūs ir paprastai atlikti. Instrumentiniais funkcinės būklės tyrimais galima tiksliau įvertinti funkcinės būklės pokyčius, tačiau tokių tyrimų metu naudojama įranga yra stacionari, o vyresnio amžiaus žmonės patogiau tirti jų gyvenamojoje aplinkoje. Šio tyrimo metu respondentų funkcinę būklę vertinta instrumentiniais ir klinikiniais testais [8, 21].

Žmogaus judamojo aparato senėjimas susijęs su nuolatiniu raumenų masės, jėgos ir susitraukimo galios mažėjimu. Dėl šios priežasties sutrinka normali, kasdienė ir apsitarnavimo funkcijos, vyresnio amžiaus žmogaus gyvenimas pasidaro nevisavertis. Tyrimais įrodyta, kad fizinis aktyvumas didina ir padeda išsaugoti raumenų jėgą ir galią, ir tai užtikrina vyresnio amžiaus žmonių savarankiškumą ir gebėjimą laisvai judėti. Netgi visiškai nesudėtingi pratimai gerina raumenų funkciją, o sudarytos fizinio aktyvumo programos ne tik padidina raumenų jėgą, bet gerina ir vidaus organų veiklą. Visą gyvenimą buvę neaktyvūs asmenys, sulaukę senyvo amžiaus ir pradėję mankštintis, taip pat pajunta teigiamus rezultatus [19].

Skirtingo amžiaus tiriamųjų funkcinės būklės testų rezultatai skyrėsi statistiškai patikimai. Vyresnio amžiaus tiriamųjų „Stotis ir eiti“ testo atlikimo greitis buvo statistiškai patikimai didesnis ($p < 0,01$) nei jaunesnio amžiaus ir vidutinio amžiaus tiriamųjų. Jaunesnio amžiaus tiriamųjų kojų raumenų jėga statistiškai patikimai didesnė už vidutinio ($p < 0,05$) ir vyresnio amžiaus ($p < 0,01$) tiriamųjų kojų raumenų jėgą. Jaunesnio amžiaus tiriamųjų blauzdos raumenų ištvermė statistiškai patikimai didesnė už vidutinio ($p < 0,05$) ir vyresnio amžiaus ($p < 0,01$) tiriamųjų.

Atlikus statinės posturografijos rezultatų analizę nustatytas neigiamas amžiaus poveikis tiriamųjų pusiausvyrai. Trečios grupės tiriamųjų kūno slėgio centro (SC) svyravimai į šonus (dx) statistiškai reikšmingai didesni ($p < 0,05$) nei pirmos grupės tiriamųjų. Pirmos grupės tiriamųjų SC svyravimai pirmyn - atgal (dy) statistiškai patikimai mažesni nei trečios ($p < 0,01$) ir antros grupės tiriamųjų ($p < 0,05$).

Su amžiumi vystosi pakitimai visose sistemose, reguliuojančiose pusiausvyrą. Sutrinka regėjimo aštrumas ir periferinis regėjimas. Sutrinka propiocepcija, atsiranda skausmas sąnariuose atliekant judesius. Pagyvenusių žmonių vestibulinis aparatas yra žymiai jautresnis nei jaunų.

Pusiausvyra yra glaudžiai susijusi su raumenų jėga ir yra ypač reikšminga pagyvenusiems žmonėms, sergantiems kelio sąnario osteoartritu. Kuo kelius ir čiurnas supantys raumenys stipresni, tuo geresnė dinaminė pusiausvyra. Jei kelius supantys raumenys yra silpni, o čiurnas supantys raumenys stiprūs, tai dinaminė pusiausvyra tokiems ligoniams nėra labai sutrikusi. Kūno masė taip pat turi įtakos pusiausvyrai: kuo ji didesnė, tuo blogesnė dinaminė pusiausvyra [25].

Raumenų jėga - tai raumens sugebėjimas raumenų pastangomis nugalėti išorės jėgas ar pasipriešinti joms. Su amžiumi raumens jėga mažėja. Didžiausia raumens jėga išvystoma apie 25 gyvenimo metus. Vėliau kasmet netenkama apie 1% jėgos. Ir apie 65 gyvenimo metus žmogus gali išvystyti tik apie 60% maksimalios raumenų jėgos. Fizinis aktyvumas padeda sulėtinti raumenų jėgos mažėjimą (Prentice & Voight, 2001) [43].

Sergant osteoartritu, kelių skausmas mažina ligonių kasdieninę veiklą. Palaipsniui atsiranda bendras silpnumas ir raumenų atrofija. Dawson ir Slovik teigia, kad šlaunies raumenų silpnumas vyresniame amžiuje daugiausia yra susijęs su kelio sąnario osteoartritu. Dėl raumenų nusilpimo sutrinka jų pusiausvyra, todėl sumažėja sąnario ertmė ir jėgos, veikiančios kelio sąnarį, pasiskirsto netolygiai. Netolygus jėgų pasiskirstymas sukelia tolesnę sąnario kremzlės degeneraciją.

Sąnario kremzlės nykimas, raumenų jėgos pusiausvyros sutrikimas trikdo sąnario artrokinematiką. Šio proceso pasekmė - netaisyklinga eisena. Lenkimo padėtis per kelio sąnarį mažina skausmą, todėl ligoniai, sergantys kelio sąnario osteoartritu, labai dažnai turi lenkiamąsias kelio sąnarį supančių minkštųjų audinių kontraktūras. Šiuo atveju geriausia kontraktūrų profilaktika yra judesio amplitudę palaikantys pratimai ir sąnarių mobilizacija. Ligoniams po ilgo gulėjimo taip pat patartina atlikti judesių amplitudės palaikymo pratimus [13].

Tiriant jaunus sveikus žmones blauzdą lenkiančių ir tiesiančių raumenų jėgos pusiausvyrą, skirtumas buvo minimalus, pagyvenusiems žmonėms, nesiskundžiantiems kelio problemomis - didesnis, o sergantiems kelių osteoartritu - didžiausias [23].

Daugelis mokslininkų teigia, kad šlaunies keturgalvio raumens jėgos mažėjimas gali būti etiologiniu OA vystymosi veiksniu. Todėl raumenų jėgos pokyčius labai svarbu įvertinti OA formavimosi pradžioje.

Esant pradinėms OA stadijoms, mokslininkai ir gydytojai praktikai pirmiausia pataria stiprinti šlaunies keturgalvį raumenį ir lavinti bendrąją aerobinę ištvermę.

Dar kartą pasitvirtina faktas, kad pusiausvyra yra glaudžiai susijusi su raumenų jėga ir yra ypač svarbi pagyvenusiems žmonėms, sergantiems kelio sąnario OA. Mokslininkai teigia: kuo blauzdos ir pėdos judesius atliekantys raumenys stipresni, tuo geresnė dinaminė pusiausvyra [25].

Tiriant asmenų, sergančių kelio sąnario OA, šlaunies raumenų jėgos pusiausvyrą buvo nustatyta, kad blauzdos tiesiamųjų raumenų jėga yra didesnė, lyginant su blauzdos lenkiamųjų raumenų.

T. Hortobagyi ir kt., ištyrę jaunų sveikų žmonių blauzdos lenkiamųjų ir tiesiamųjų raumenų jėgos pusiausvyrą, nustatė, kad antagonistų jėgos skirtumas buvo labai mažas, pagyvenusių žmonių, nesiskundžiančių kelių sąnarių problemomis - didesnis, o sergančių kelių OA - didžiausias.

Tiriant asmenis, sergančius kelių OA ir analizuojant skausmo poveikį pusiausvyrai, propriocepcijai ir šlaunies keturgalvio raumens jėgai buvo nustatyta, kad skausmas veikia raumenų jėgą ir pusiausvyrą, o propriocepciją - kiti veiksniai.

P. P. Law teigimu, taikant TENS, sergančiųjų OA kelių sąnarių skausmas sumažėja jau po dešimties dienų, tuo pačiu didėja kelio sąnario judesių amplitudė.

Tyrimo metu taikyta TENS ir kelių sąnarių mobilizacija, kuriai būdingas nuskausminamasis poveikis, per 10 dienų statistiškai reikšmingai pagerina tiriamųjų savijautą, tačiau visiškai skausmo nenumalšina.

Tyrimo rezultatai parodė, kad kuo anksčiau pradedama taikyti sąnarių mobilizacija, TENS ir fiziniai pratimai kartu, tuo greitesnių ir geresnių rezultatų pasiekama lavinant sergančiųjų OA pusiausvyrą ir šlaunies raumenų jėgą.

Esant užsitęsusiam praeinančiam smegenų išemijos priepuoliui (PSIP) (transiet ischemic attacks - TIA), vienas iš dažniausiai pasitaikančių sutrikimų - pusiausvyros sutrikimas. Pacientas nesugeba išlaikyti stabilios arba reikiamos kūno padėties, atlikdamas įvairius judesius tam tikromis kūno dalimis ar išorės jėgų veikiamas. Sutrikusi pusiausvyra labai apriboja pacientų mobilumo galimybes. Pusiausvyros sutrikimai apsunkina šių pacientų savarankišką apsitarnavimą. Pusiausvyros sutrikimai priklauso nuo daugybės faktorių. Gera pusiausvyra būna, kai koordinuotai tarpusavyje sąveikauja įvairios organizmo sistemos ir organai. Pusiausvyrą išlaikant dalyvauja: proprioceptoriai, periferinė nervų sistema, smegenėlės, vestibulinis aparatas, regėjimo organai, raumenys, ypač posturaliniai ir kojų, ortostatinės reakcijos, labai svarbus paciento suvokimas ir motyvacija.

Pusiausvyros ir kitos neurologinės simptomatikos regresavimas priklauso nuo dviejų tarpusavyje susijusių procesų: morfologiškai išlikusių, bet laikinai dezorientuotų neuronų, esančių apie pažeidimo zoną, atsistatymo ir neuroplastiškumo. Ryškiausias atsistatymas vyksta per pirmus 3 - 6 mėnesius, tačiau pakankamai dažnai šis procesas vyksta ir vėliau.

Pusiausvyros lavinimas pacientams pradedamas, kai stabilizuojasi neurologinė būklė. Norint lavinti pusiausvyrą, pirmiausia reikia ją įvertinti. R. Geiger, Le. M. Postellec ir kiti autoriai taiko šiuos testus: Berg'o funkcinę pusiausvyros vertinimo skalę, pusiausvyros laikymo vertinimą pagal Tinetti skalę, Rombergo testą, Stoti ir Eiti testą, liemens kontrolės testą, Fugle - Mayer ir kitus [21].

Literatūros šaltiniuose aprašomi pacientams taikomi po galvos smegenų kraujotakos sutrikimų kineziterapijos metodai, kurie suskirstyti į 3 grupes pagal tai, kuo jie yra grindžiami:

- β neurofiziologinius;

- β judesių mokymo;

- β eklektiškus.

Kalbant apie pusiausvyrą, dauguma autorių mini Bobath metodą [4, 12]. Šio metodo esminiai bruožai yra šie: spastiškumo mažinimas, automatinių vertimosi ir pusiausvyros reakcijų skatinimas, kaklo toninių refleksų slopinimas [12]. Bobath metode judesių sutrikimai sergant galvos smegenų insultu aiškinami remiantis neurofiziologija. Jie siejami su laikysena, refleksais ir normalių judesių vystymosi seka. Metodo tikslas - gerinti pakenktą judesių kokybę taip, kad abi kūno pusės dirbtų kartu harmoningai. Tiesioginio kūno palaikymo specialiuose taškuose tikslas - aferentinės impulsacijos valdymas ir normalių posturalinių reakcijų skatinimas. Metodo esmė yra neteisingų judesių modelių pakeitimas, t. y., pirma slopinami neteisingi judesiai, po to mokomasi teisingų, nes per didelės pastangos gali padidinti raumenų tonusą. Pagal šį metodą visų judesių pagrindas yra liemuo. Norint normalizuoti raumenų tonusą galūnėse, pirmiausia reikia jį normalizuoti liemenyje. Liemuo atlieka pagrindinę visų kūno distalinių dalių judesių kontrolę. Todėl pusiausvyra glaudžiai siejasi su liemens judesiais. Pacientas tik tada galės išlaikyti pusiausvyrą, kai išmoks kontroliuoti savo liemens judesius, t. y. atlikti liemens lenkimo bei sukimo judesius. Pusiausvyros kontrolei svarbu, kad judesyje aktyviai dalyvautų tiek liemens lenkėjai, tiek tiesėjai. Norint išlaikyti pusiausvyrą stovint, į judesį būtina įtraukti žymiai daugiau liemens bei galūnių judesių [4].

Išanalizavus literatūros šaltinius, kurie nagrinėja pusiausvyros sutrikimus bei jos lavinimo principus, matyti, kad šiam tikslui dažniausiai taikomos kineziterapinės priemonės [21]. Iš tokių priemonių svarbiausios yra pratimai, atliekami įvairiose padėtyse: sėdint, stovint, einant. Sutrikusios pusiausvyros atstatymas ir jos lavinimas - sudėtingas ir ilgas procesas, reikalaujantis aktyvaus paciento dalyvavimo jame. Pasaulyje atliekama daugybė tyrimų, kuriami įvairūs metodai siekiant efektyviai lavinti pusiausvyrą, atstatyti sutrikusias funkcijas bei sutrumpinti reabilitacijos periodą [48].

Žmonių, patyrusių galvos smegenų infarktą, dinaminės pusiausvyros valdymą lemia raumenų jėgos generavimo ir jutimo sutrikimai, raumenų tonuso pakitimai, besiformuojančios

patologinės sinergijos, sutrikęs išankstinio pasiruošimo mechanizmas kūno padėties keitimui, taip pat antriniai poinsultiniai pakitimai, pvz., raumenų ilgio sumažėjimas, jų atrofijs, sąnarių amplitudžių ribotumas, biomechaniniai kūno sandaros pakitimai ir kt.

Moksliniai duomenys apie ryšį tarp galvos smegenų infarktą patyrusių žmonių dinaminės pusiausvyros ir apatinių galūnių raumenų jėgos yra prieštaringi. B. Bobath ir P. M. Davies teigia, kad dinaminei pusiausvyrai lemiamos įtakos turi liemens raumenų kontrolė.

Naujausių tyrimų duomenys rodo, kad motoneuronai, inervuojantys liemens raumenis, gauna ir ipsilateralinį, ir kontralateralinį eferentinį impulsus, o galūnių raumenys - daugiausia tik kontralateralinį. Tai reiškia, kad liemens raumenų kontrolė nebūna pažeidžiama esant vieno galvos smegenų pusrutulio žievės infarktui.

J. Carr ir R. Shepherd elektromiografijos duomenimis, neurologinių sutrikimų neturinčių žmonių tiesusis pilvo raumuo reaguoja į abiejų pusrutulių stimuliavimą, gavo panašius rezultatus elektromiografiniu būdu ištyrę neurologiškai sveikus žmones ir žmones po tromboembolinės galvos smegenų išemijos. Nustatytas bilateralinis tiesiojo pilvo ir nugaros tiesiamojo raumens aktyvavimas raumenų koncentrinio ir ekscentrinio darbo metu. Statistiškai reikšmingo skirtumo tarp tiriamųjų grupių nerasta.

J. Carr ir R. Shepherd teigimu, apatinės galūnės yra pagrindinės struktūros, kurios reguliuoja liemens judesius, vykstančius virš atramos ploto. Liemens judesių nepakankamumas, kai galvos smegenų infarktą patyręs žmogus bando atlikti judesius sėdėdamas, rodo tai, kad jis bijo perkelti bendrosios kūno masės centrą į atramos ploto periferiją, kadangi apatinės galūnės negeba stabilizuoti liemens judesių.

2001 metais Pacific universitete, Forest Grove, Oregon, JAV buvo atlikti tyrimai su 30 galvos smegenų infarktą patyrusių žmonių. Kontrolinę grupę sudarė 30 neurologinių sutrikimų neturinčių žmonių. Jų dinaminė pusiausvyra buvo tiriama „Funkcinio siekimo“, „Stotis ir eiti“ testais. Abipusė apatinių galūnių raumenų jėga buvo matuojama įprastinėse raumenų testavimo padėtyse naudojant Lafayette aparatą. „Stotis ir eiti“ testo metu buvo matuojamas laikas (sekundėmis), t. y. kiek tiriamieji užtrukdavo atsistodami nuo kėdės (kėdės aukštis 46 cm), kiek prireikė laiko jiems patogiu greičiu nueiti tris metrus, apsisukti, grįžti atgal ir atsistoti ant kėdės. Laikas buvo matuojamas chronometru nuo komandos „pradėti“ (tiriamasis sėdi atsirėmęs į kėdės atlošą) iki momento, kada tiriamasis atsistėdė, vėl nugara remdamasis į kėdės atlošą. Tiriamieji galėjo naudotis jiems įprasta kompensacine priemone, bet kito žmogaus pagalba nebuvo teikiama. „Funkcinio siekimo“ testo metu galvos smegenų infarktą patyrę tiriamieji stovėjo sveikuoju šonu, kontrolinės grupės - dešiniuoju prie sienos, jos neliesdami, ir jiems patogiu atstumu tarp pėdų. Abipusė apatinių galūnių 10 raumenų grupių izometrinė jėga buvo matuojama įprastinėse raumenų testavimo padėtyse (tiriamajam gulint ant nugaros, pilvo ir sėdint). Testavimui buvo naudojamas

raumenų jėgos matavimo Lafayette aparatas (Lafayette Instrument Corp., JAV). Aparato padėtys buvo nustatomos remiantis W. Andrews ir kt. ir R. W. Bohannon rekomendacijomis, kadangi jie nustatė aparato padėčių stabilumą ir reikšmingumą. Pirmiausia buvo testuojama sveikoji apatinė galūnė. Tiriamieji atlikdavo vieną neregistruojamą bandymą, po to tris registruojamus, iš kurių buvo apskaičiuojamas vidurkis, naudojamas tolesnei analizei. Kiekvienas bandymas truko 4 - 5 sekundes tam, kad tiriamasis spėtų išvystyti maksimalią susitraukimo jėgą.

Tyrimų duomenimis [2, 6] koreliacijos reikšmės tarp dinaminės pusiausvyros tyrimo duomenų ir apatinės galūnės raumenų gebėjimo išvystyti jėgą atitinka ankstesnius žmonių, patyrusių galvos smegenų infarktą. Žmonių, patyrusių galvos smegenų infarktą, ryšys tarp dinaminės pusiausvyros, tiriant ją „Stotis ir eiti“ testu ir „Funkcinio siekimo“ testu, ir apatinių galūnių raumenų jėgos yra silpnas, nors neurologinių sutrikimų neturinčių pagyvenusių žmonių dinaminė pusiausvyra su apatinių galūnių jėga koreliuoja stipriai.

R. W. Bohannon galvos smegenų infarktą patyrusių žmonių tyrimai rodo vidutinę koreliaciją ($r = 0,68$) tarp pusiausvyros tiriamajam einant ir abiejų apatinių galūnių šlaunies lenkėjų (pusiausvyros vertinimo parametru buvo pasirinktas pagalbos lygis, reikalingas nueiti apie 40 metrų). R. W. Bohannon ir S. Walsh nustatė vidutinę koreliaciją tarp tiriamiesiems patogaus ėjimo greičio ir pažeistos galūnės kelio tiesėjų raumenų ($r = 0,67$) bei sveikos galūnės kelio tiesėjų raumenų ($r = 0,74$) [5]. Ir sveikų pagyvenusių, ir galvos smegenų infarktą patyrusių žmonių tyrimai rodo didesnę tarpusavio ryšį tarp apatinių galūnių raumenų jėgos ir eisenos parametrų negu tarp apatinių galūnių raumenų jėgos ir pusiausvyros parametrų (18-20) [5, 18].

A. Karlsson ir G. Fryberg galvos smegenų infarktą patyrusių žmonių tyrimo duomenys rodo gerą koreliaciją ($r = 0,74$) tarp pusiausvyros ir apatinių galūnių propriocepcijos, vidutinę koreliaciją ($r = 0,69$) tarp pusiausvyros ir apatinių galūnių raumenų tonuso (Žmonės, patyrę galvos smegenų infarktą, susiduria su daugybe sutrikimų: izoliuotų valingų judesių generavimo, raumenų darbo koordinacijos, biomechaniniu skeleto ir raumeninės sistemos struktūrų tarpusavio santykio, raumens fiziologijos, regos ir vestibulinio aparato, psichologinių ir socialinių, taip pat patiria skausmą. Visi šie sutrikimai kiekvienas atskirai ar kartu su kitais turi įtakos pusiausvyrai. Remiantis tuo, galima paaiškinti šiame tyrime gautas silpnas koreliacijas tarp apatinių galūnių raumenų jėgos ir dinaminės pusiausvyros [27].

M. Brown ir kt. tyrė silpnos fizinės būklės pagyvenusių, bet neurologinių sutrikimų neturinčių žmonių vaikščiojimo galimybes ir rado stipresnę koreliaciją tarp šlaunies ir kelio tiesėjų bei čiurnos plantarinių fleksorių jėgos ir gebėjimo atsistoti nuo 38 cm aukščio kėdės ($r = -0,74$) negu tarp tų pačių raumenų ir ėjimo greičio ($r = 0,62$) (24) [10]. Jie padarė išvadą, kad koreliacija tarp apatinės galūnės raumenų jėgos ir ėjimo parametrų yra silpna dėl mažo ėjimo greičio. S. J. Olney ir kt. [16] 97 galvos smegenų infarktą patyrusių žmonių tyrimo duomenys rodo, kad kuo

didesnis ėjimo greitis, tuo didesnė koreliacija tarp ėjimo parametrų ir šlaunies, kelio lenkėjų bei čiurnos plantarinės fleksijos raumenų. Koreliacijos buvo didesnės pažeistosios kūno pusės [10].

Insultas - ūminis kraujotakos sutrikimas galvos smegenyse. Galvos smegenų insultas yra dažna negalios, priklausomybės bei socialinių įgūdžių praradimo priežastis. Vienas iš dažnai pasitaikančių sutrikimų pacientams po galvos smegenų insulto - pusiausvyros sutrikimas.

Pusiausvyros lavinimas pacientams po galvos smegenų kraujotakos sutrikimų skirtingų autorių duomenimis, pradedamas, kai stabilizuojasi neurologinė būklė: vieni rekomenduoja pacientą sodinti lovoje iš karto, kai tik būklė stabilizuojasi (1 - 2 parą po smegenų infarkto, po hemoragijos – 3 - 5). Pirmą kartą 45 laipsnių kampu, jei nėra ortostatinių reakcijų, sodinimo kampas didinamas iki 90 laipsnių. Pirmą kartą sėdi iki 5 minučių, jei sėdima padėtis toleruojama, sėdėjimo laikas ilginamas. Sodinama 5 kartus per dieną ir dažniau. Kai gerai toleruojama sėdima padėtis lovoje, pacientas pradedamas sodinti nuleistomis kojomis. Jis valgo, prausiasi sėdimoje padėtyje. Pacientas statomas, kai tik pradeda gerai toleruoti sėdimą padėtį [38].

Moksliniuose straipsniuose daugiausia aprašomi tyrimai, kurių metu tiriami pacientai praėjus pusei ir daugiau metų po insulto, kai jie jau gali savarankiškai ar su minimalia pagalba atsistoti bei padaryti kelis žingsnius.

Po galvos smegenų kraujotakos sutrikimų sutrinka pusiausvyra, koordinacija, jutimai, kinta raumenų tonusas, pablogėja mobilumas. Nuo pat pirmų dienų sutrinka ligonio kūno padėties pojūtis gulint, sėdint, stovint ar einant. Yra pažeidžiamas savisaugos instinktas [12].

Dauguma sveikų žmonių versdamiesi lovoje, keldamiesi, sėsdamiesi, atsistodami, stovėdami, eidami kaip pagalba sau naudojami rankų judesiais. Tai paspartina atliekamą veiksmą ir palengvina kojų bei liemens darbą. Pacientai po galvos smegenų kraujotakos sutrikimo, atlikdami minėtus judesius, nesuderina rankų ir kojų judesių, o tai apsunkina šių veiksmų atlikimą [46].

Tiriant pacientų pusiausvyrą po galvos smegenų kraujotakos sutrikimų, dalyvavo 386 pacientai iš jų 206 vyrai ir 190 moterų. Pacientų amžiaus vidurkis 62 metai (vyrų - 59,2 m., moterų - 64 m.). Atlikti 2 tyrimai: I tyrimas - reabilitacijos pradžioje, II - reabilitacijos pabaigoje. Buvo vertinami funkciniai judesiai: pasivertimas ir atsisėdimas lovoje per paralyžiuotą kūno pusę. Pusiausvyra sėdint ir stovint. Pacientų gebėjimas pernešti savo kūno svorį nuo vienos kojos ant kitos sėdint bei stovint. Žingsnio parametrai. Pacientams, kurie galėjo eiti (savarankiškai ar su pagalbėmis priemonėmis), šio testo metu buvo matuojamas žingsnio ilgis ir plotis. Buvo įvertinta, kokių pagalbinių priemonių, palengvinančių judėjimą, reikėjo tiriamiesiems reabilitacijos pradžioje ir pabaigoje. Šio tyrimo metu buvo nustatoma, kiek pacientų galėjo nueiti 10 m ir 100 m prieš ir po reabilitacijos.

Tyrimo rezultatų skirtumas stebėtas vertinant pacientų pusiausvyrą. Reabilitacijos pradžioje pernešti kūno svorį nuo vienos kojos ant kitos sėdint galėjo tik 11 % pacientų, o stovint 8%. Reabilitacijos pabaigoje atitinkamai - 70% ir 78% reabilitacijos programoje dalyvavusių pacientų.

Tiriant statinės pusiausvyros sąsają su regos sensorinės sistemos sutrikimais ir atramos ploto pokyčių įtaka stabilumui buvo parodyta, kad aklų, regėjimo likutį turinčių ir regėjimo sutrikimų neturinčių paauglių statinės pusiausvyros rodikliai blogėja mažėjant atramos plotui. Žvelgiant į pusiausvyros išlaikymą ne kaip į integracinę centrinės nervų sistemos ir sensomotorinių sistemų funkciją, o tik jos išlaikyme dalyvaujančių strategijų aspektu, teigiama, kad regėjimo sutrikimų neturinčių, regėjimo likutį turinčių ir visiškai aklų tiriamųjų čiurnos ir klubų strategija svyruojant skersine kryptimi, dalyvaujant regai arba pritaikius regos okliuziją, ne taip efektyviai stabilizuoja slėgio centrą kaip svyruojant strėline kryptimi. Todėl tai gali būti vienas iš faktorių, lemiančių didesnes pusiausvyros rodiklių reikšmes stovint padėtyje „koja prieš koją“.

Tiriant regos sutrikimo įtaką statinės pusiausvyros, paprastosios ir psichomotorinės reakcijos rodikliams dalyvavo 45 tiriamieji: visiškai akli tiriamieji ($n = 12$), tiriamieji, kuriems išlikęs regos likutis ($n = 13$), tiriamieji, kuriems nerasta regėjimo sutrikimų ($n = 20$). Remiantis tyrimo duomenimis, tiriamiesiems, kuriems išlikęs regos likutis, nepakankama regimoji informacija trikdo kompensacinių reakcijų vystymąsi. Tiriamųjų, kuriems nerasta regos sutrikimų, atmerktomis akimis ir visiškai aklų tiriamųjų paprastosios ir psichomotorinės reakcijos rodiklių vidurkiai yra panašūs, taigi aklųjų sensomotorikoje atsiranda kompensacinės reakcijos. Vis dėlto reginčiųjų ir aklųjų pusiausvyros, paprastosios ir psichomotorinės reakcijos rodiklių vidurkiai nėra lygūs, todėl daroma išvada, kad kompensacinės reakcijos regimosios informacijos, kontroliuojant judesius, visiškai pakeisti negali [46].

Dar viena tyrimas buvo atliktas nagrinėjant visiškai aklų, regėjimo likutį turinčių ir normaliai reginčių moksleivių pusiausvyros ypatumus. Buvo tiriami aštuoni visiškai akli, dešimt regėjimo likutį turinčių ir aštuoni normaliai regintys moksleiviai. Tyrimui naudota testavimo sistema, leidžianti registruoti žmogaus kūno bendrojo masių centro judėjimą. Testavimo sistemą sudaro dinamografinė platforma MA-1 ir kompiuterinė įranga registruojamiems signalams analizuoti. Naudojant dinamografinę platformą buvo registruojamos žmogaus bendrojo masių centro (BMC) koordinatės (posturograma). Kadangi BMC visą laiką kinta, buvo registruojamos X (sagitalioji kryptis) ir Y (skersinė kryptis) koordinačių kitimo kreivės. Posturograma buvo registruojama tiriamiesiems stovint ant dinamografinės platformos įvairiomis pozomis ir esant skirtingam vizualinės informacijos intensyvumui. Visų užrašytų posturogramos rodiklių vertė stovint uždengtomis akimis yra patikimai didesnė negu stovint atsimerkus. Vienas informatyviausių pusiausvyros rodiklių - kūno BMC nueitas kelias - normaliai regintiems moksleiviams uždengus akis. Nustatyta, kad visiškai akli ir regėjimo likutį turintys moksleiviai atsimerkę pusiausvyrą

išlaiko blogiau negu normaliai regintys moksleiviai atsimerkę. Uždengtomis akimis normaliai regintys moksleiviai pusiausvyrą išlaiko geriau kaip regėjimo likutį turintys moksleiviai, tačiau blogiau negu visiškai akli. Normaliai reginčių moksleivių uždengtomis akimis patikimai padidėja kūno BMC šoninių svyravimų amplitudė visais dažnių diapazonais. Dėl nevisavertės regimosios informacijos ir nepakankamo kompensacinių motorikos mechanizmų išsivystymo, regėjimo likutį turintys moksleiviai pusiausvyrą išlaiko blogiau negu visiškai akli ir normaliai regintys moksleiviai. Dėl kompensacinių pusiausvyros kontrolės mechanizmų buvimo visiškai akli moksleiviai išlaiko pusiausvyrą geriau nei regėjimo likutį turintys moksleiviai atsimerkę ir uždengtomis akimis, tačiau blogiau negu normaliai regintys moksleiviai atsimerkę [26].

1.11. Apibendrinimas ir darbo užduočių formavimas

Apibendrinant galima teigti, kad žmogaus kūno pusiausvyra ir jos stabilumą įtakojantys veiksniai yra iki šiol aktuali problema, kurios sprendimui yra naudojami įvairiausi metodai bei priemonės - įvairūs instrumentiniai metodai, sudaromi matematiniai modeliai. Nepaisant to, kad statinės pusiausvyros įvertinimui yra metodų įvairovė, mokslininkai dažniausiai naudoja statinės posturografijos metodą, bei žmogaus dinaminį modelį sudaro atvirkštinės švytuoklės principu, t. y. priimama, kad žmogaus kūnas svyruoja kaip apversta švytuoklė. Vertikalios stovėsenos išlaikymas yra esminis žmogui. Išanalizavus literatūrą vis dar kyla klausimas kodėl, žmogus ramiai stovint, svyruoja? Kad nustatyti žmogaus stabilumo ribas reikia sudaryti dinaminį - matematinį pusiausvyros modelį. Išanalizuoti jo veikimo principą bei įtakos pusiausvyrai turinčius faktorius. Darbo tikslas nustatyti stabilumo ribas, atlikti eksperimentiškai žmogaus pusiausvyros parametrų tyrimus.

2. Eksperimentinis žmogaus pusiausvyros parametrų tyrimas

Pusiausvyros tyrimai buvo atliekami VŠĮ Vilniaus universiteto Santariškių klinikų „Fizinės medicinos ir reabilitacijos centre“ (J. Kairiūkščio g. 2, Vilnius). Asmenys savanoriškai dalyvavo tyrime. Visi tiriamieji buvo supažindinti su tyrimo metodu ir eiga. Su tiriamaisiais buvo pasirašyta sutartis 1 egzemplioriumi (priedas Nr. 4).

Šio darbo tikslas - įvertinti bei palyginti sveikų ir galvos smegenų insultą patyrusių asmenų statinės pusiausvyros parametrus naudojant jėgos platformą ir akcelerometriją.

Akcelerometrija - vienas iš naujausių pusiausvyros tyrimams taikomų metodų. Akcelerometrijai naudojami akcelerometrai, tvirtinami prie tiriamojo liemens ir galūnių bei kompiuterinė įranga, matuojamų signalų analizei apdoroti. Akcelerometrais nustatomi kūno segmentų judėjimo greičiai ir pagreičiai trijose ašyse: vertikalioje, horizontalioje ir skersinėje (Yu *et al* 2008; Winter 1990).

2.1. Tiriamieji

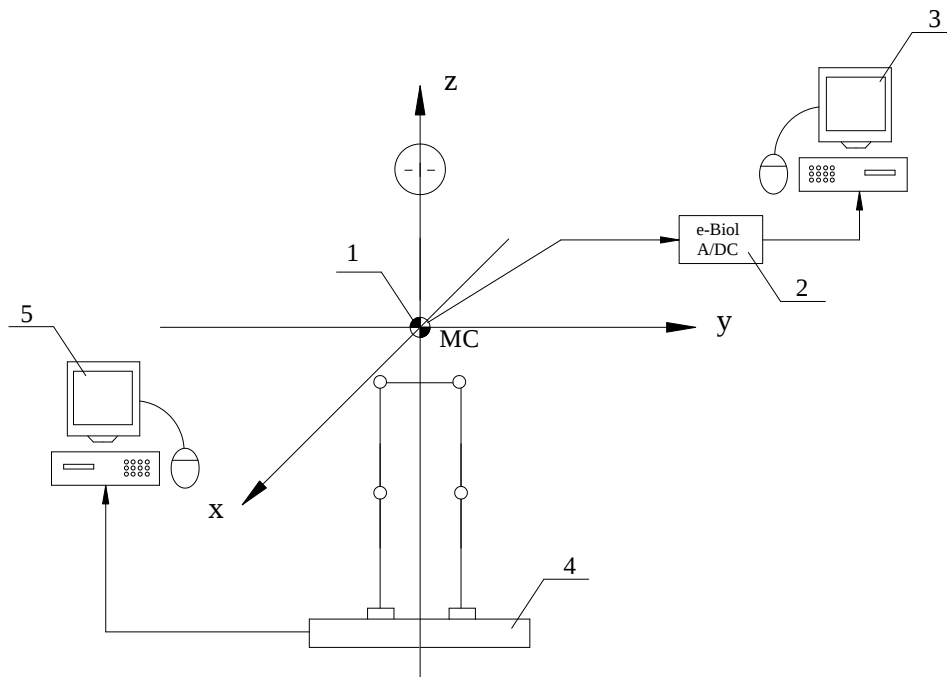
Sveikų savanorių grupę sudarė 30 asmenų (16 vyrų ir 14 moterų, kurių amžiaus vidurkis = $25,97 \pm 3,88$, ūgis = $175,37 \pm 3,88$ cm, svoris = $73,67 \pm 15,67$ kg.). Nei vienas iš savanorių nebuvo patyręs raumenų – kaulų sistemos traumų ar sužalojimų.

Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių grupę sudarė 15 asmenų (13 vyrų ir 2 moterys, kurių amžiaus vidurkis = $69 \pm 6,04$, ūgio vidurkis = $176,93 \pm 7,26$ cm, svorio vidurkis = $88,13 \pm 12,36$ kg.). Visų pacientų reabilitacija po galvos smegenų insulto buvo įpusėjusi.

2.2. Tyrimo metodika

Atlikti 2 eksperimentiniai tyrimai vienu metu - pirmą tyrimą sudarė pusiausvyros stebėjimas naudojant jėgos platformą (MTD - balance), sujungtą kartu su kompiuteriu, o antrą tyrimą sudarė žmogaus masės centro svyravimų stebėjimas naudojant pagreičių jutiklį (ADXL 320 ± 5 g, 4mm $\times$ 4mm $\times$ 1,45mm dydžio) kartu su kompiuteriniu elektrinių signalų įvesties ir valdymo įrenginiu E - biol, kuris yra skirtas analoginiams ir skaitmeniniams elektriniams signalams įvesti į PC kompiuterius, taip pat elektriniams signalams generuoti, ir kompiuteriu (12 pav.).

Šio darbo tikslas - įvertinti bei palyginti sveikų ir galvos smegenų insultą patyrusių savanorių statinės pusiausvyros parametrus naudojant jėgos platformą ir akcelerometriją.



12 pav. Matavimo schema: 1 – pagreičių daviklis; 2 – valdymo įrenginys e - Biol; 3 – kompiuteris; 4 – jėgos plokštė; 5 – kompiuteris

Kiekvienam tyrime dalyvaujančiam savanoriui reikėjo 30 sekundžių pastovėti ant jėgos plokštės 3 kartus atmerkтомis akimis ir 3 kartus užmerkтомis akimis, pertrauka tarp bandymų buvo 2 minutės. Tuo pačiu metu savanoriui stovint ant jėgos plokštės, masės centro srityje buvo pritvirtintas pagreičių daviklis. Jėgos plokštė fiksavo kojų spaudimo jėgą [N], o pagreičių daviklis žmogaus masės centro svyravimų amplitudę X ir Y plokštumoje.

Pagreičių daviklio ir jėgos plokštės gauti duomenys buvo apdoroti MATLAB 7 ir MS EXCEL kompiuterinėmis programomis.

3. Žmogaus pusiausvyros dinaminio modelio sudarymas

3.1 Įvadas

Kaip rodo mokslinių darbų analizė, žmogaus pusiausvyros modeliavimui dažnai yra naudojamas apverstosios švytuoklės principas, t.y. priimama, kad žmogaus kūnas svyruoja kaip apversta švytuoklė ir laikoma, kad masė yra sukoncentruota kūno masės centre. Grynai mechaniniu požiūriu, apversta švytuoklė yra nestabili sistema, jeigu nėra jokio papildomo mechanizmo, matuojančio švytuoklės nukrypimus nuo vertikalios ašies ir gražinančio į vertikalios pusiausvyros padėtį. Vertikalios stovėsenos išlaikymas yra esminis žmogui. Tyrimai, susiję su pusiausvyros kontrole ir padėties stabilumu, yra tarpusavyje skirtingi. Padėties balansas (pusiausvyra) yra susijusi su gebėjimu stovėti vertikaliai viduje atramos pagrindo arba sugražinti pusiausvyrą po išorinio dirgiklio sužadinimo, o padėties pastovumas susijęs su stovėjimu kiek įmanoma ramiau. Slėgio centras (COP) yra dažniausiai naudojamas kaip parametras, identifikuojantis pusiausvyros mechanizmą ir yra apibrėžiamas kaip žemės reakcijos jėgų veikimo taškas po pėda. COP poslinkiai yra naudojami tirti neurologinius ir biomechaninius padėčių valdymo mechanizmus. Pusiausvyros vertikaliam išlaikymui yra sudėtingas procesas, užtikrinamas dėka darnaus darbo žmogaus organizmo sistemų, tokių kaip regos, propriocepinės ir vestibulinės sistemos, skeleto-raumeninio aparato funkcionavimo ir pan.

3.2 Dinaminio modelio sudarymas

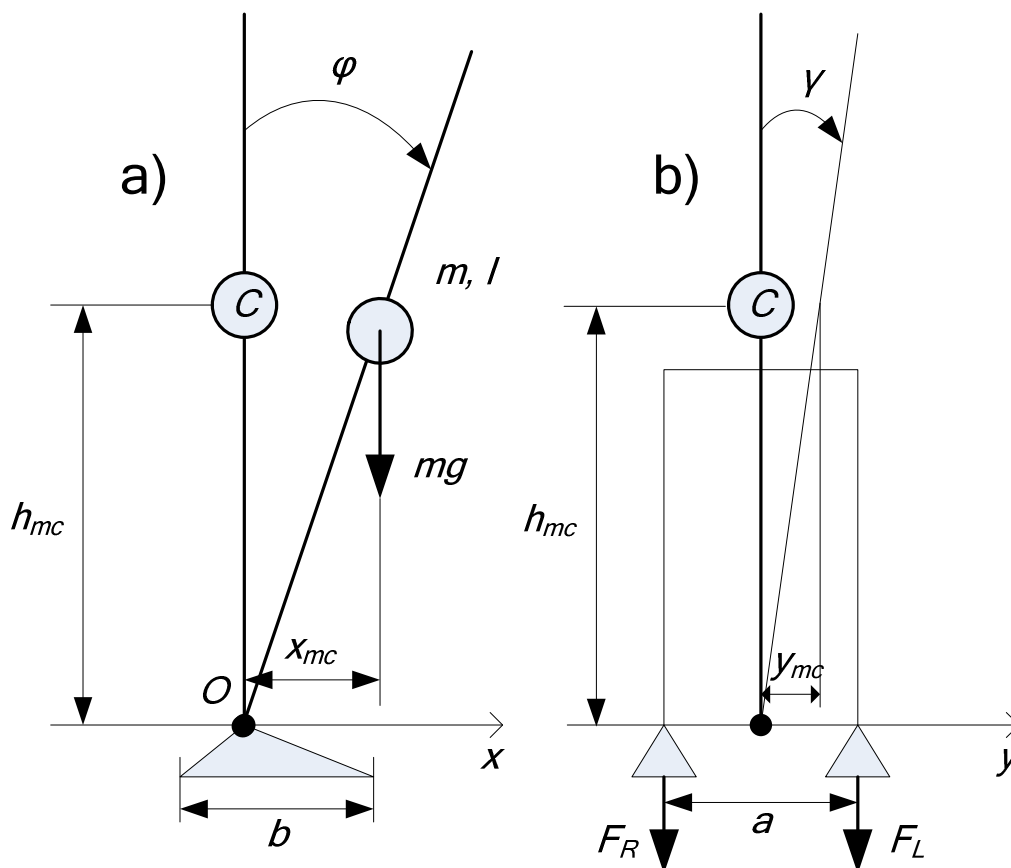
Analizuojant žmogaus svyravimą kaip mechaninės švytuoklės, galima išskirti kelias priežastis, kodėl žmogaus kūnas stovint ramiai svyruoja:

- β atramos paviršiaus plotas yra mažas bei atramos taškai yra du (jeigu stovima abiem kojom ant žemės), o stabilumui užtikrinti reiktų mažiausiai trijų atramos taškų;
- β masės centras yra aukštai nuo atramos paviršiaus bei pasislinkęs į priekį, tokiu būdu sudarydamas svorio jėgos verčiantįjį momentą.

Žmogus kaip mechaninė dinaminė sistema būtų nestabili nesant pusiausvyros valdymo mechanizmo, kurį ir užtikrina nervinis-raumeninis aparatas. Stovint ramiai, kulkšnies raumenys sujungimo vietoje vaidina pagrindinį vaidmenį kūno svyravime, taip vadinama pusiausvyros valdymo kulkšnies strategija. Savaime, apversta švytuoklė yra nestabili, bet žmogaus pusiausvyros kontrolės sistema - centrinė nervų sistema, komanduoja raumenims – kulkšnies sujungimo vietoje,

kad suteiktų kūnui stabilumą. Pusiausvyros padėtis stovint ramiai gali būti charakterizuojama masės centro poslinkiu nuo vertikalios ašies.

Siekiant įvertinti stabilumo ribas, yra sudaromas žmogaus pusiausvyros dinaminis modelis, pavaizduotas 13 pav.



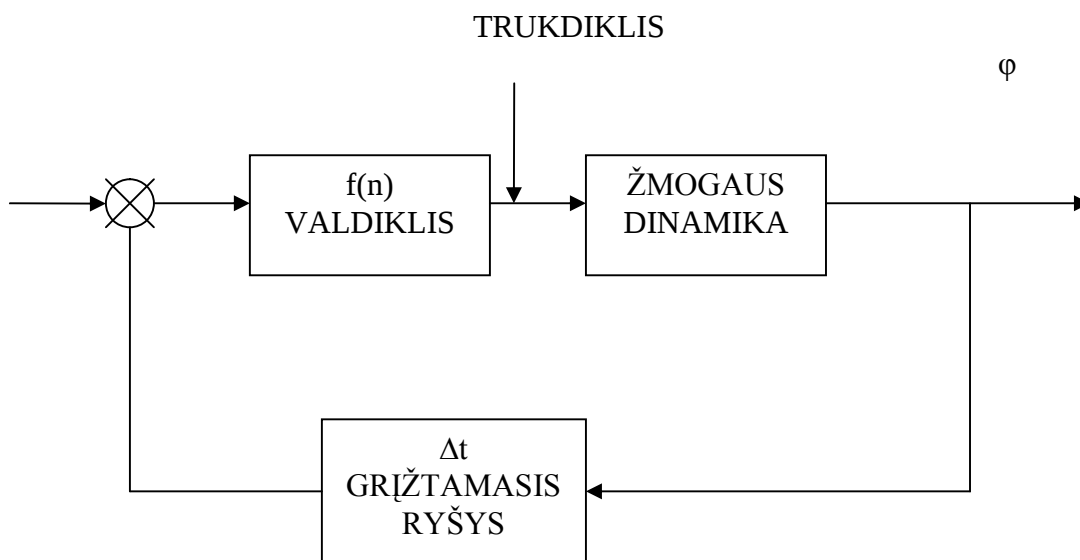
13 pav. Stovinčio žmogaus dinaminis modelis. a) vaizdas iš šono, svyravimo kryptis pirmyn/atgal; b) vaizdas iš priekio

Sudarant žmogaus pusiausvyros modelį, yra priimama, kad žmogaus kūno masė m (be pėdų) yra sukoncentruota kūno masės centre taške C , esančiame aukštyje h_{mc} nuo kulkšnies sąnario. Pėdų masė ir jų aukštis yra neįvertinami, kadangi laikoma, kad svyravimas vyksta per kulkšnį (kulkšnies strategija). Žmogaus masės centro aukštis yra nustatomas iš antropometrinių duomenų lentelių (priedas Nr. 3). Žmogaus kūno inercijos momentas I apie tašką O yra apskaičiuojamas:

$$I = I_{mc} + mh_{mc}^2, \quad (4)$$

čia I_{mc} – kūno inercijos momentas apie kūno masės centrą ir jis yra randamas iš antropometrinių duomenų lentelės (priedas Nr. 3), m – kūno masė be pėdų.

Biomechaninės sistemos stabilumas priklauso nuo valdiklio, kuris turėtų būti proporcingas masės centro svyravimų amplitudei, nes viršijus tam tikrą dydį, raumeninis aparatas turi įsijungti ir atstatyti į pradinę padėtį.



14 pav. Žmogaus mechaninė - dinaminė sistema

Kai kurie tyrimai parodė, kad paprasti balanso parametrai nesuteikia pakankamai informacijos, kad nustatytume pusiausvyros kontrolės mechanizmo sutrikimą specifinėse aplinkose.

Tikroji stabilumo riba gali būti apibrėžiama kaip atstumas, kurį subjektas nori ir gali nueiti neprarasdamas pusiausvyros ir nežengdamas žingsnio.

Po insulto žmonėms reikalinga reabilitacija atstatyti gebėjimą išlaikyti vertikalią stovėseną. Kaip modelio prielaida - poinsultiniam subjektui gali būti susilpnėjusi atraminių galūnių funkcija - sumažėję nestabilumas arba jo valdymas (valdiklio) funkcijų parametrų nestabilumas. Esant nustatytam masės centro pagreičiui X ir Y plokštumoje reikia rasti žmogaus kaip švytuoklės masės centro svyravimo projekciją ant žemės.

Sudaromas dinaminis žmogaus pusiausvyros modelis, kuriuo bus galima įvertinti stabilumo ribas. Nagrinėjama netiesinė dinaminė sistema, kurios supaprastintas modelis pavaizduotas 13 paveiksle. Nagrinėjama dinamika ir joje vykstantys reiškiniai. Pusiausvyros nepastovumas gali sukelti grėsmę nukristi, ypač pagyvenusiems žmonėms. Klinikiniam balanso kontrolės vertinimui yra reikalingi kiekybiniai tyrimai. Vienas metodas panaudotas, kad identifikuotų stabilią laikyseną, susideda kontroliavime priešakinio einančio po mažo nukrypimo kūno supimo aplink pusiausvyros padėtį per ramią poziciją (Prieto ir al. 1996). Kad suprastų mažą nukrypimą kūno supimo per ramią poziciją, žmogaus pozicijos modeliavimas galėtų būti naudingas reikia analizuoti bandomuosius

duomenis ir įvertinti pusiausvyros stoką. Matematinis žmogaus laikysenos modelis apima du pagrindinius komponentus: pirmas, modeliuodamas kūno (skeletą) dinamiką, antras modeliavimas centrinės nervų tinklo sistema

Autonominėje sistemoje, kurios statinė pusiausvyra sutrikdoma kokio nors pradinio poslinkio arba pradinio greičio, prasideda laisvieji virpesiai (svyravimai) [48].

Modelis yra supaprastintas iki vieno koncentruoto masės kūno - žmogaus kūno masė m (nuo pėdų iki viršugalvio), su svorio centru C . Priima, kad žmogus gali pasislinkti X ir Y kryptimis (į priekį ir atgal), ir apsisukti apie Ox ašį, todėl žmogaus kūno poslinkis yra x ir posūkio kampas apie ašį atitinkamai φ . Dinaminė sistema yra netiesinė ir turi vieną koordinatę. Dinaminės sistemos modelis turi vieną laisvės laipsnį ir todėl judesiui aprašyti reikia tokio pat skaičiaus lygčių. Judesio lygtiai sudaryti buvo naudojamas D'Alamberto principas:

Svyruojančio apie tašką O žmogaus kūno masė m sukaupia jos gale A atstumu L nuo svyravimo taško O . Žmogaus kūno masės neveikia jokia išorinio žadinimo jėga, tai žadinimo jėgų momentas M_t priliginamas nuliui. Žmogaus kūno padėties apibendrintąją koordinatę pasirenkamas kampas φ , atskaitomas nuo ašies OX . Šiuo atveju būtina atsižvelgti į svorio jėgą G . Ji išsklaidoma į dvi dedamąsias: $G' \perp OA$ ir $G' \parallel OA$.

Parašius momentų apie tašką O sumos lygtį, gaunama:

$$-M_i - M_{sv} + M(t) = 0; \quad (5)$$

M_i – inercijos momentas: skaičiuojamas žmogaus kūno masės inercijos momentas apie tašką O ;

$$M_i = J \ddot{\varphi}; \quad (6)$$

M_{sv} – svorio jėgų momentas: skaičiuojamas svorio jėgų momentas;

$$M_{sv} = G' L = GL \sin \varphi = mgL \sin \varphi; \quad (7)$$

čia: g – laisvojo kritimo pagreitis.

$M(t)$ – išorinio žadinimo momentas: skaičiuojamas išorinio žadinimo momentas;

$$M(t) = 0; \quad (8)$$

$M(t)$ – prilyginamas nuliui, todėl kad sudarytame žmogaus pusiausvyros dinaminiam modelyje neveikia jokia išorinė jėga.

Irašius į (5) lygybę momentų reikšmes (6), (7), (8) gauname žmogaus kūno masės svyravimo lygtį;

$$I \ddot{\varphi} - mgL \sin \varphi = 0; \quad (9)$$

Gautoji lygtis netiesinė, nes yra narys $\sin \varphi$. Kai svyravimo kampas φ nedidelis ir $\sin \varphi \cong \varphi$, gaunama linearizuota žmogaus kūno masės svyravimo lygtis;

$$I \ddot{\varphi} - mgL \varphi = 0; \quad (10)$$

Mažais kampais svyruojančiai žmogaus kūno masei pritaikius sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinę dėsnį:

$$M = I_x \cdot \varepsilon; \quad (11)$$

gaunama tokia jos svyravimus aprašanti diferencialinė lygtis:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = - \frac{mgL}{I_x} \varphi; \quad (12)$$

čia: $\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \varepsilon$ – kampinis pagreitis, o I_x - inercijos momentas svyravimo ašies Ox.

Iš formulės (11) išplaukia tokia žmogaus kūno pusiausvyros savojo ciklinio dažnio išraiška;

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgL}{I_x}}; \quad (13)$$

Iš čia savasis svyravimų periodas:

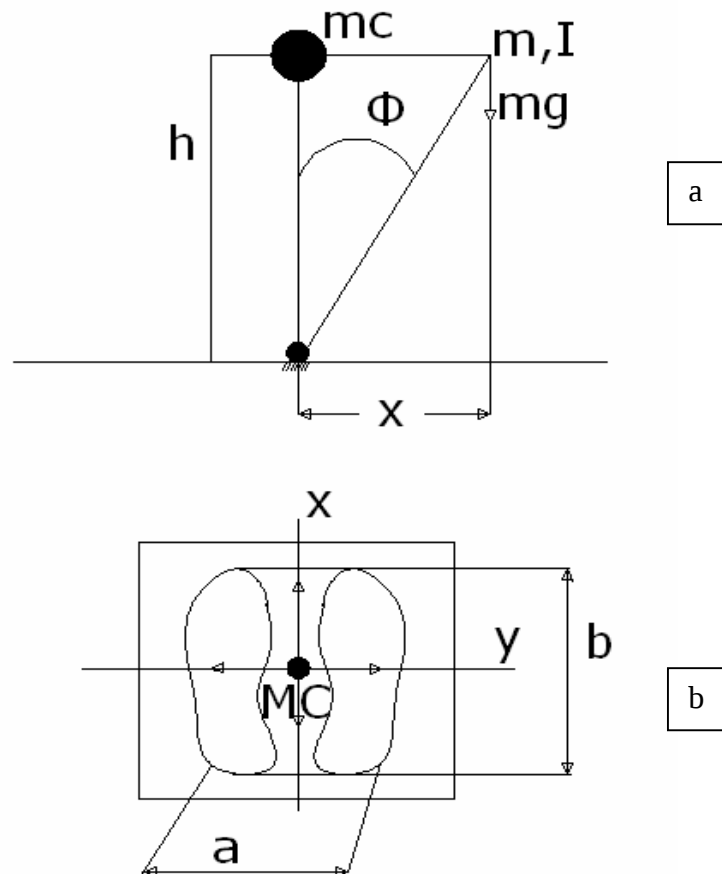
$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I_x}{mgL}}; \quad (14)$$

Masės m ilgio L svyruoklės inercijos momentas $I_x = mL^2$, todėl iš formulės (13) svyravimų periodas yra;

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}; \quad (15)$$

3.3. Žmogaus kūno pusiausvyros stabilumo ribos

Tikroji stabilumo riba gali būti apibrėžiama kaip atstumas, kurį subjektas nori ir gali nueiti neprarasdamas pusiausvyros ir nežengdamas žingsnio. Po insulto žmonėms reikalinga reabilitacija atstatyti gebėjimą išlaikyti vertikalią stovėseną. Kaip modelio prielaida - poinsultiniam subjektui gali būti susilpnėjusi atraminių galūnių funkcija - sumažėję nestabilumas arba jo valdymas (valdiklio) funkcijų parametrų nestabilumas. Esant nustatytam masės centro pagreičiui X plokštumoje reikia rasti žmogaus kaip švytuoklės masės centro svyravimo projekciją ant žemės.



15 pav. a- žmogaus kūno masės dinaminis modelis; b- kūno masės centro projekcija

Galima teigti, kad žmogaus stabilumo ribos yra X kryptimi:

$$X \leq \frac{b}{2}; \quad (16)$$

o, Y kryptimi stabilumo ribos:

$$Y \leq \frac{a}{2}; \quad (17)$$

b - priliginamas žmogaus pėdos ilgiui, o a – atstumas tarp abiejų kojų.

Žmogaus kūno segmentų ilgis nustatomas pagal žmogaus antropometrines normas. Antropometrinė norma nustato ryšį tarp kūno segmentų linijinių matmenų ir žmogaus ūgio. Atskiro kūno segmento ilgis skaičiuojamas pagal formulę (21), kur kūno segmento ilgis išreiškiamas atskiro kūno segmento ilgio koeficiento ir žmogaus ūgio sandauga:

$$l_n = k_i \cdot H; \quad (18)$$

čia l_n - atskiro kūno segmento ilgis, m; k_i - atskiro kūno segmento ilgio koeficientas; H - ūgis, m.

4. Duomenų analizė

4.1. Jėgos plokštės registruojami parametrai

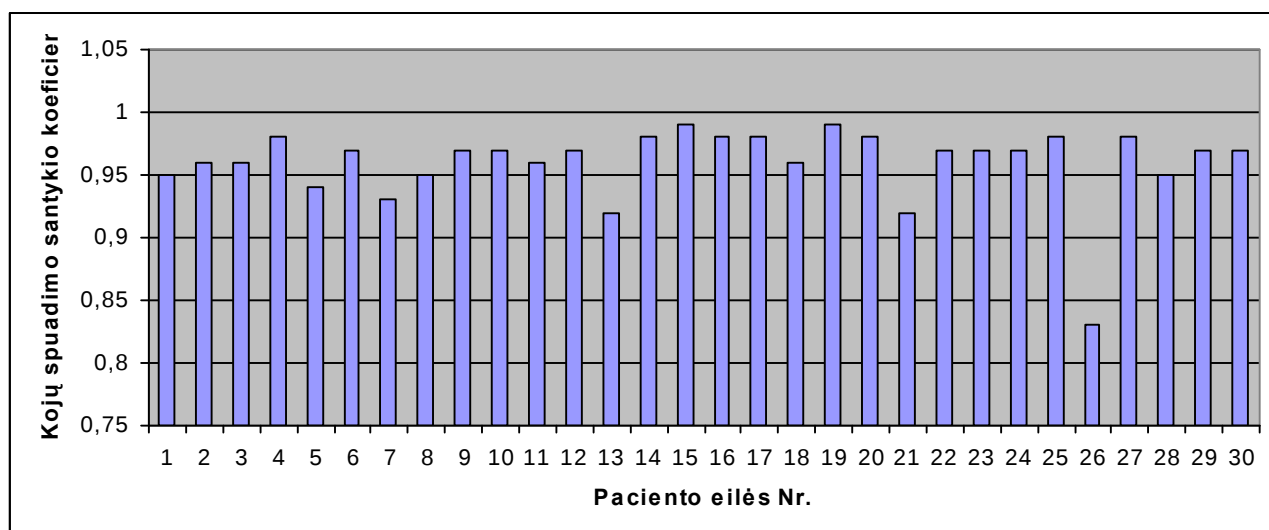
Jėgos plokštė fiksuoja kojų spaudimo jėgą [N]. Jėgos plokštės registruojami statistiniai įverčiai kairės ir dešinės kojų vidurkio nuokrypis, dešinės kojos standartinis nuokrypis, kojų spaudimo santykis (priedas Nr. 1).

Nagrinėjamas kojų spaudimo santykis, nes šis parametras nurodo pusiausvyros stabilumą. Kojų spaudimo santykis yra standartizuotas parametras, atsižvelgiant į tai galima nustatyti pusiausvyros sutrikimo lygį (1 lentelė).

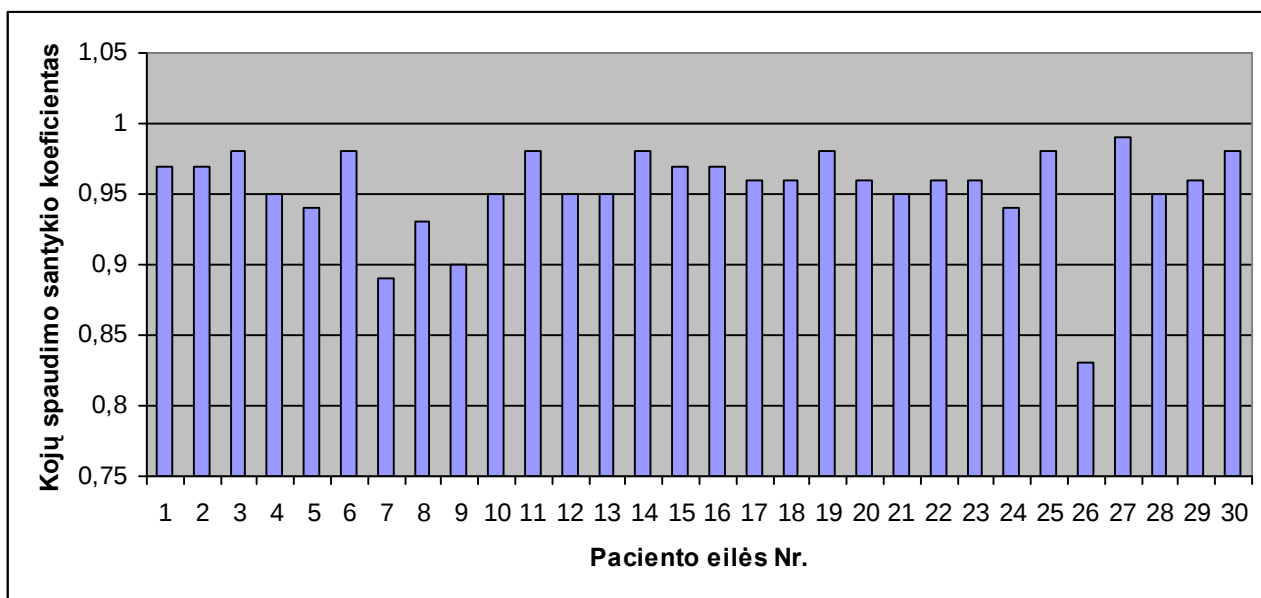
1 lentelė. Kojų spaudimo santykio koeficiento klasifikacijos lentelė

Pusiausvyros sutrikimo lygis	Kojų spaudimo santykio koeficientas	Pusiausvyros sutrikimas
1	0,99 – 0,95	Pusiausvyra stabili
2	0,94 – 0,90	Pusiausvyra nežymiai sutrikusi
3	0,89 – 0,80	Pusiausvyra nestabili
4	0,79 – 0,50	Pusiausvyra žymiai sutrikusi, nestabili

Nustačius pacientui žemą kojų spaudimo santykio koeficientą, yra skiriama tolimesnė rehabilitacija, taip pat nustačius koeficientą galima sužinoti, ar pacientui taikoma gydymo metodika yra efektyvi. Kojų spaudimo santykis buvo registruojamas pacientui stovint ramiai ant jėgos platformos 3 kartus atsimerkus ir 3 kartus užsimerkus po 30 sekundžių. Skaičiuojamas vidurkis.



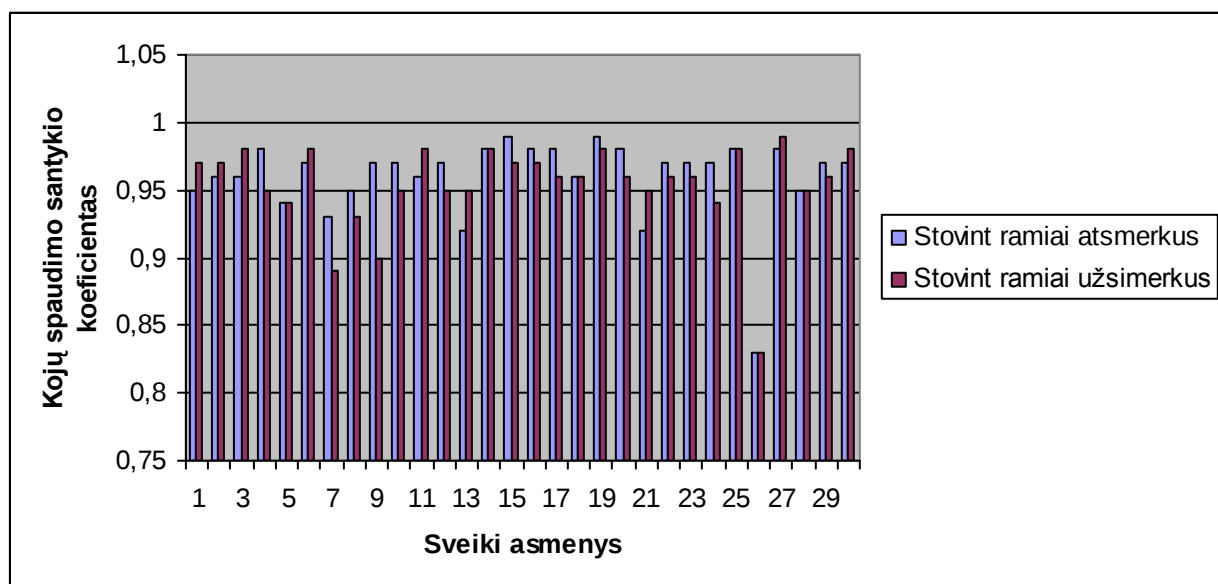
16 pav. Sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis užsimerkus



17 pav. Sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis užsimerkus

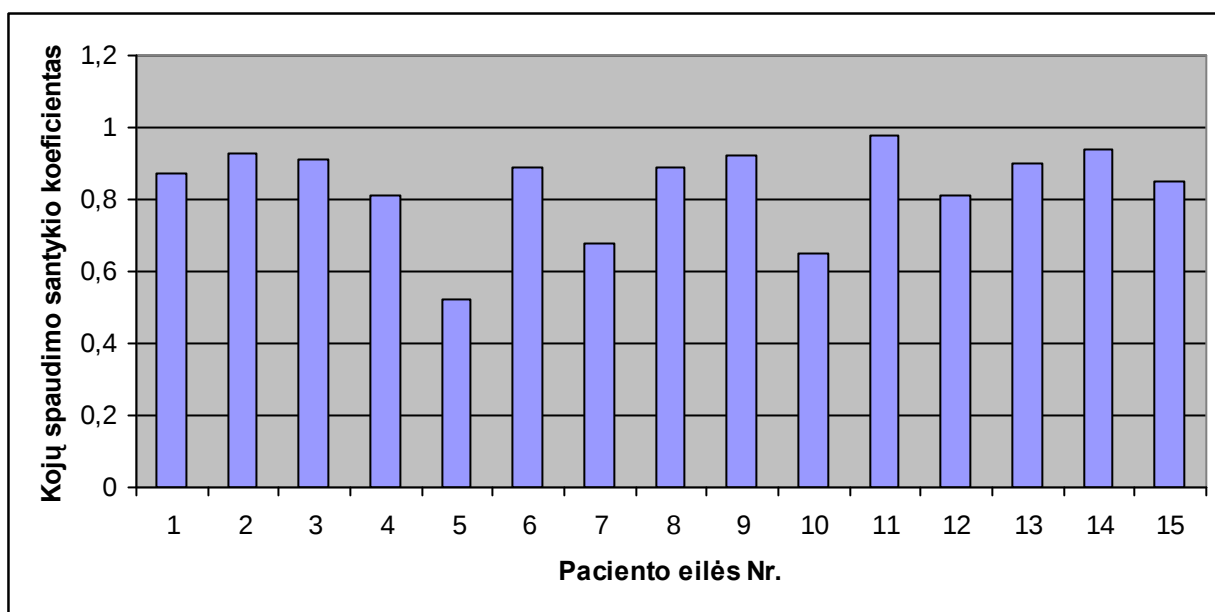
16 - 17 paveiksluose pavaizduoti sveikų savanorių kojų spaudimo santykių vidurkiai. Kojų spaudimo santykio vidurkis $\pm$ SD = 0.9599 ± 0.03 atsimerkus, kojų spaudimo santykio vidurkis = 0.9581 ± 0.03 užsimerkus.

Palyginimui imami 16 – 17 paveikslai (18 pav.).

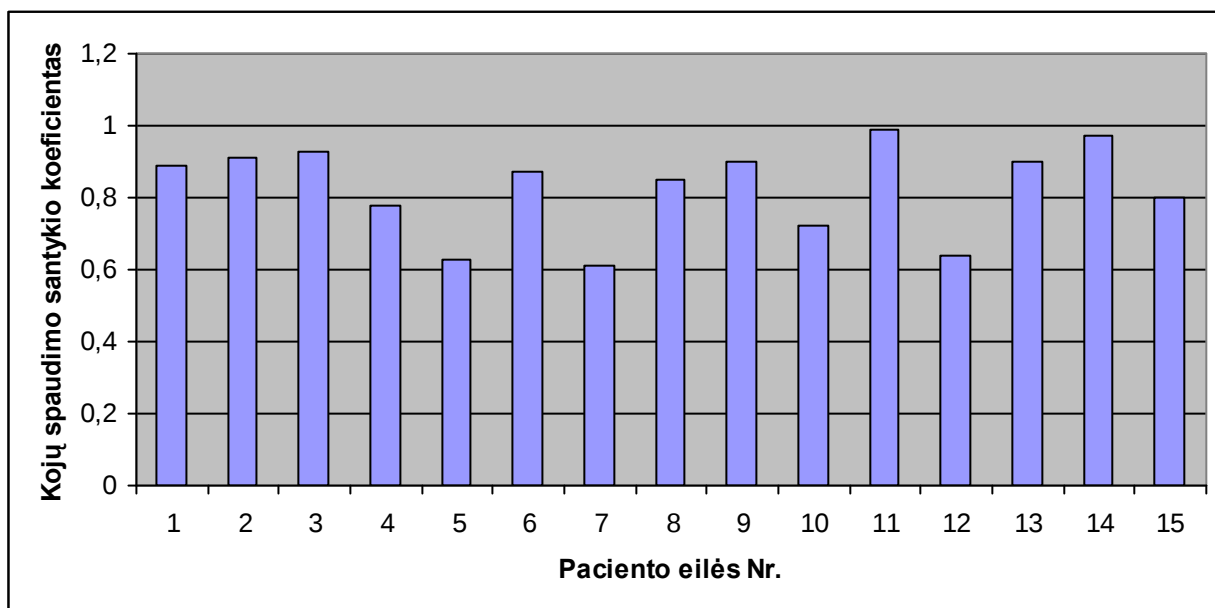


18 pav. Sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus

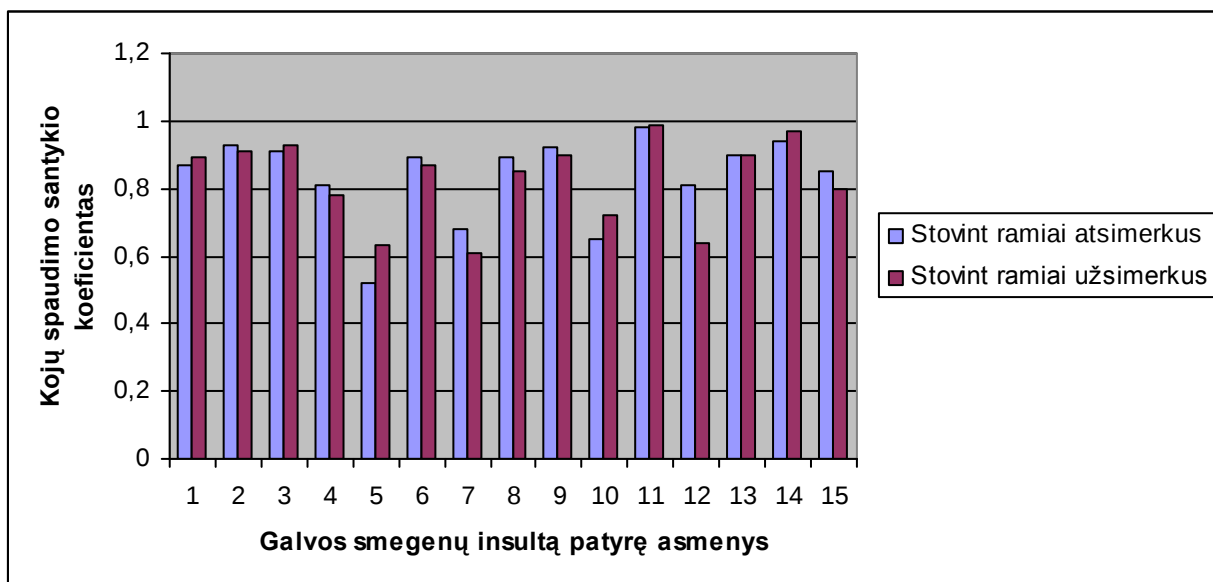
Sveikų savanorių kojų spaudimo santykio koeficiento maksimali reikšmė stovint ramiai atsimerkus 0,99, o maksimali reikšmė užsimerkus 0,96. Dešinės ir kairės kojų spaudimo santykių reikšmės, artėjančios prie 1, rodo tai, kad žmogus stovi stabiliai. Atlikus eksperimentinį tyrimą galima teigti, kad sveikų savanorių, stovint ramiai atmerktomis ir užmerktomis akimis, pusiausvyra yra stabili. Pašalinus vizualinį faktorių kojų spaudimo santykio koeficiento reikšmė sumažėjo, bet atsižvelgus į 1 lentelę, pusiausvyra išlieka stabili.



19 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis atsimerkus



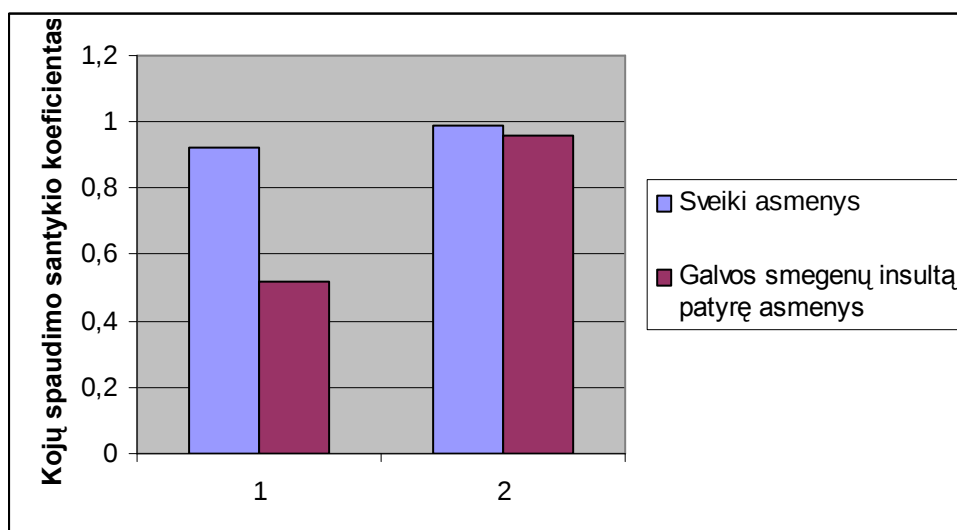
20 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis užsimerkus



21 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus

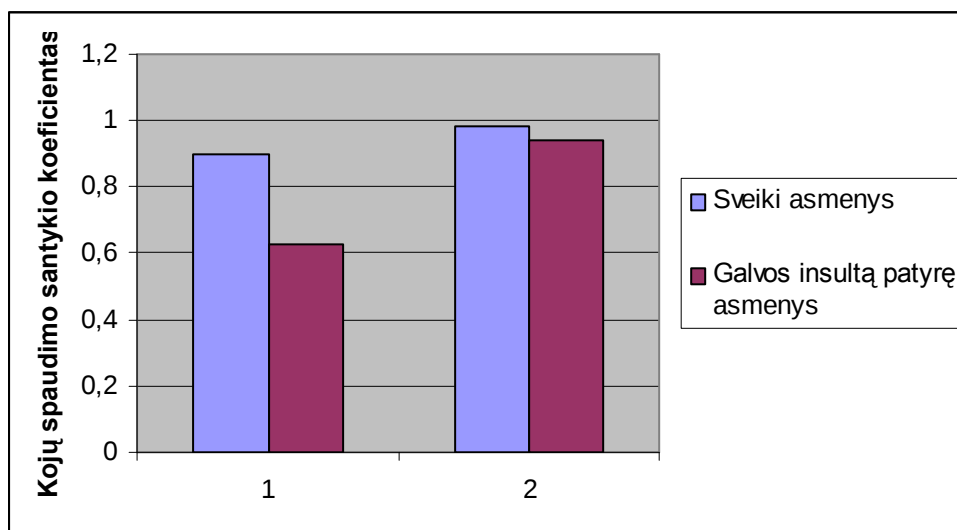
Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių 19, 20 pav. kojų spaudimo santykio vidurkis $\pm$ SD = 0.8393 ± 0.128 atsimerkus, kojų spaudimo santykio vidurkis = 0.8367 ± 0.127 užsimerkus.

Palyginimui imamos maksimalios kojų spaudimo santykio koeficiento reikšmės. Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių koeficiento intervalas stovint atsimerkus 0,52 - 0,96, o sveikų asmenų 0,92 - 0,99 (22 pav.).



22 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių ir sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis atsimerkus; 1- mažiausios vertės; 2 - maksimalios vertės

Galvos smegenų insultą patyrusių savanorių koeficiento intervalas stovint užsimerkus 0,63-0,94, o sveikų asmenų 0,90 - 0,98 (23 pav.).



23 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių ir sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo vidurkis užsimerkus; 1- mažiausios vertės; 2 - maksimalios vertės

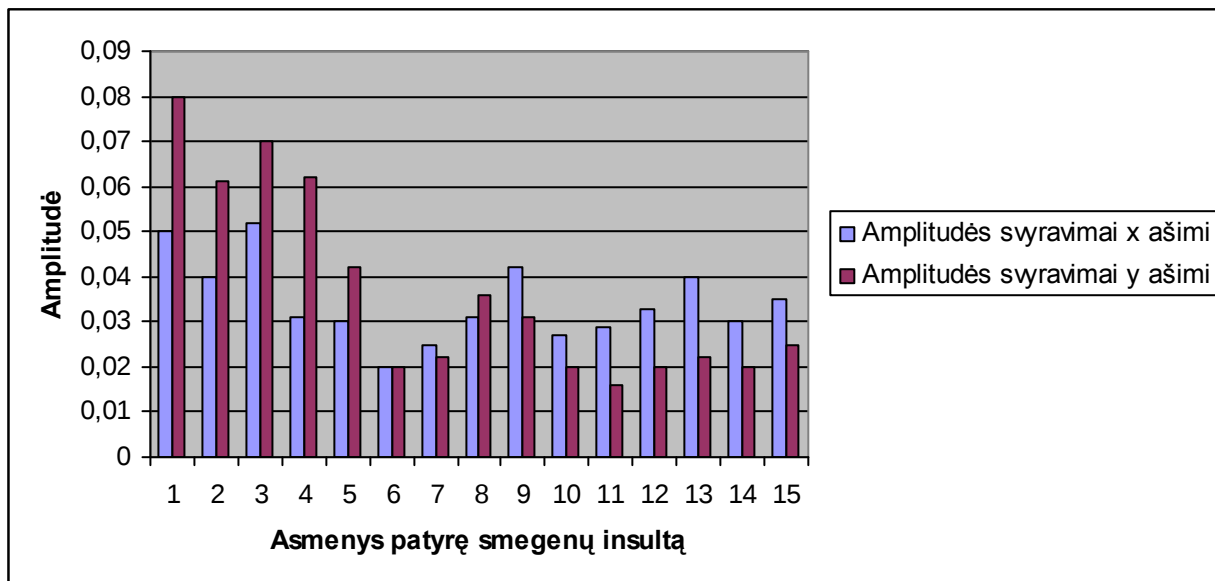
Žymus skirtumas tarp koeficiento reikšmių pastebimas esant savanoriams atsimerkus. Mažiausios vertės skirtumas tarp koeficientų yra 0,4, maksimalios vertės – 0,03. Maksimalios vertės skirtumas nėra žymus, nes galvos smegenų insultą patyrusių asmenų gydymas buvo jau link pabaigos ir jie jautėsi sveiki. Todėl maksimalios vertės buvo nustatytos tiems pacientams, kuriems iki išrašymo iš klinikos liko savaitė, ir jie buvo pasveikę.

Taip pat žymus skirtumas yra tarp mažiausių koeficiento reikšmių esant pacientams užsimerkus, nes esant vizualiniam nebuvimui, sutrinka pusiausvyra, todėl galvos smegenų insultą patyrusių asmenų koeficientai yra žemesni, bet jie yra didesni už koeficientus stovint atsimerkus, ši situacija susidarė dėl to, kad pacientai stovėdami užsimerkę laikėsi už turėklų, o tai stabilizavo pusiausvyrą. Sveikų asmenų stovint atsimerkus ir užsimerkus koeficientų reikšmės yra daugiau nei 0,90.

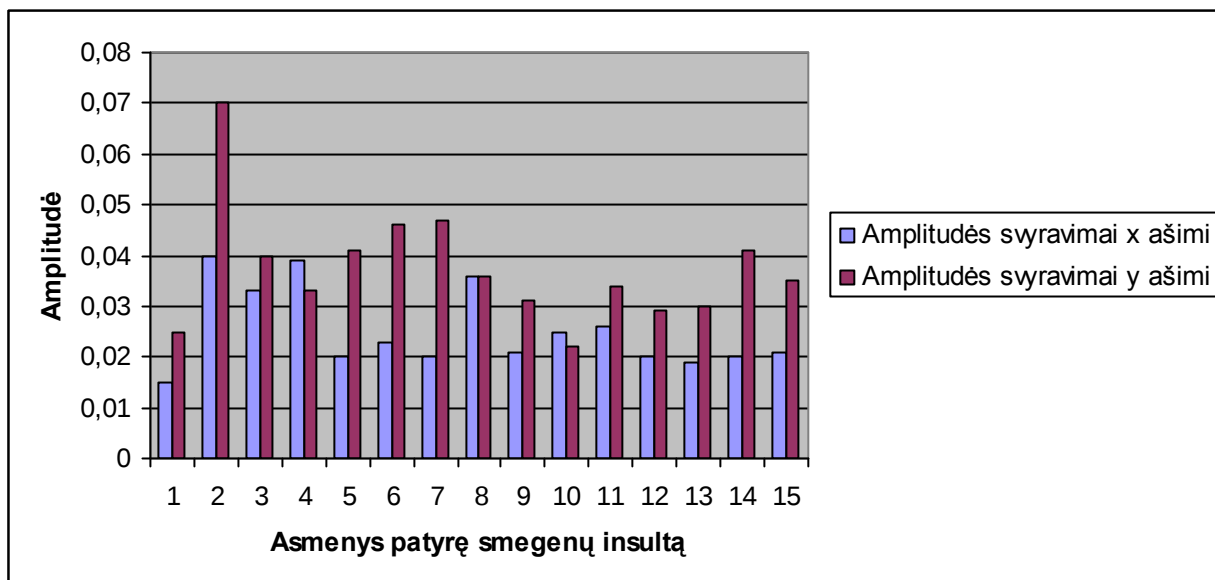
4.2. Pagreičių jutiklių registruojami parametrai

Savanoriui stovint ant jėgos plokštės, masės centro srityje buvo pritvirtintas pagreičių daviklis. Matuojant pagreitį pagreičio jutikliais labai svarbu, kad jutiklis būtų lygiagrečiai judėjimo ašiai. Atliekamo tyrimo metu jutikliai buvo tvirtinami prie plataus diržo, kuris neleido jiems pasvirti. Pagreičių daviklis registruoja žmogaus masės centro svyravimų amplitudę X ir Y

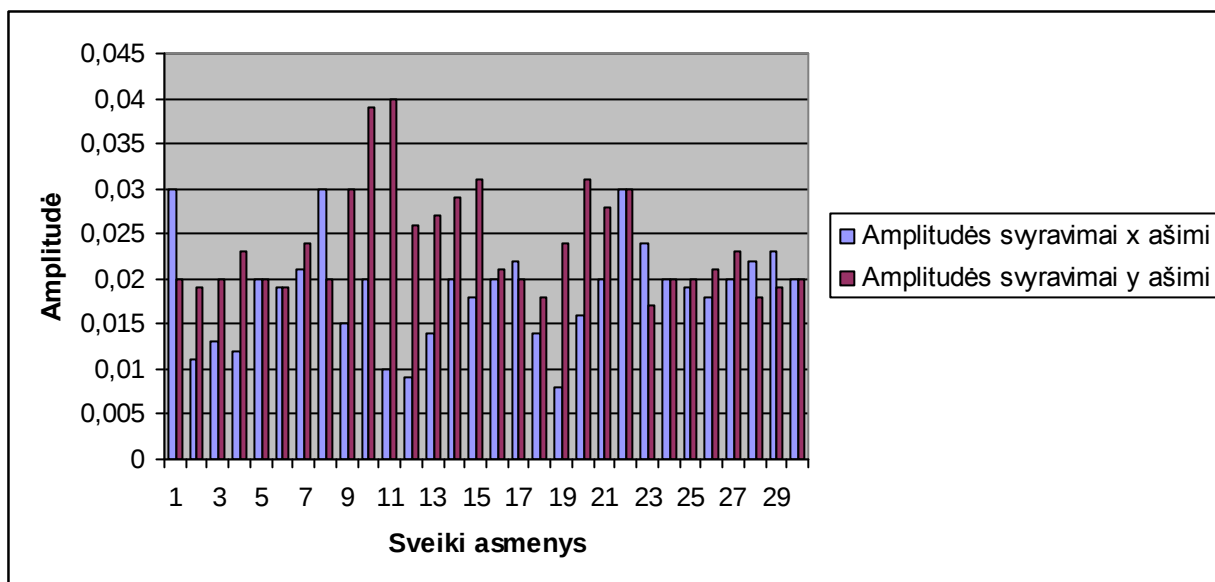
plokštumoje. Skaičiuojamos svyravimo amplitudės X ir Y kryptimis, duomenys apdoroti MATLAB 7 ir MS EXCEL kompiuterinėmis programomis.



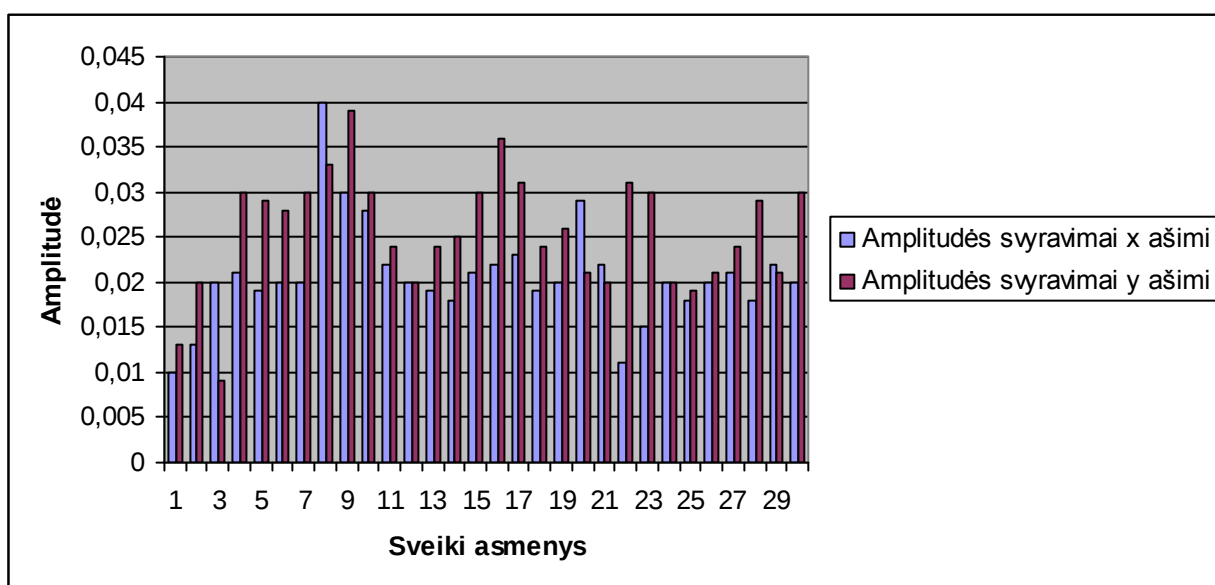
24 pav. Asmenų patyrusių smegenų insultą amplitudės svyravimai x ir y kryptimis stovint atsimerkus



25 pav. Asmenų patyrusių smegenų insultą amplitudės svyravimai X ir Y kryptimis stovint užsimerkus



26 pav. Sveikų asmenų amplitudės svyravimai X ir Y kryptimis stovint atsimerkus



27 pav. Sveikų asmenų amplitudės svyravimai X ir Y kryptimis stovint užsimerkus

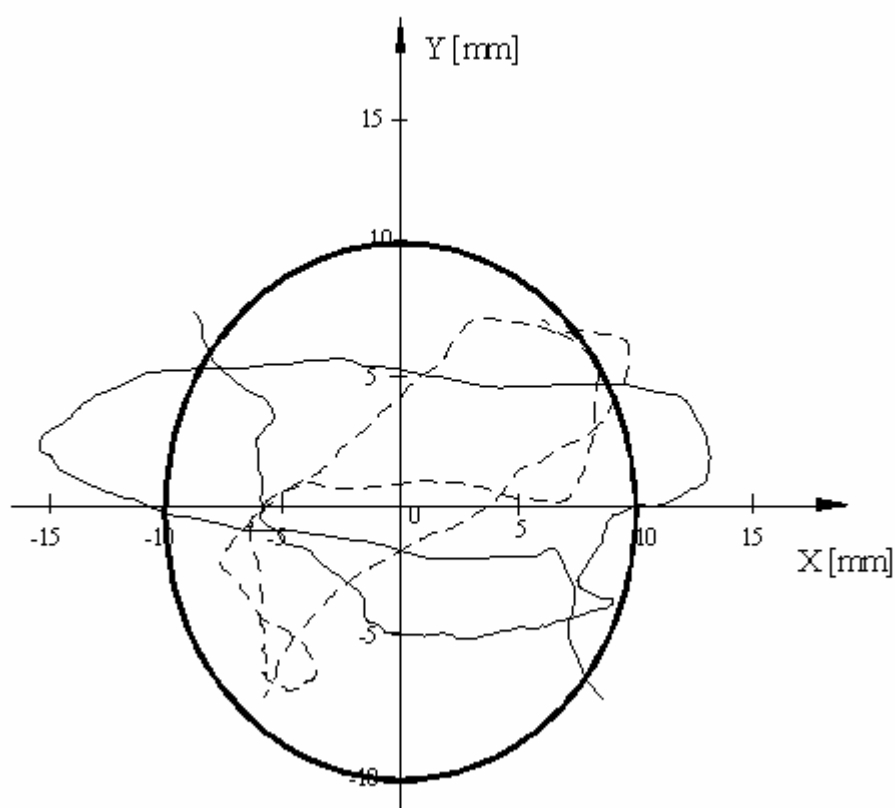
Tyrime dalyvavusių savanorių, antropometrinių duomenų įtaka kūno svyravimų amplitudei išreiškiama kūno masės indeksu, kuris skaičiuojamas taip;

$$I_{BM} = \frac{m}{h^2} \quad (19)$$

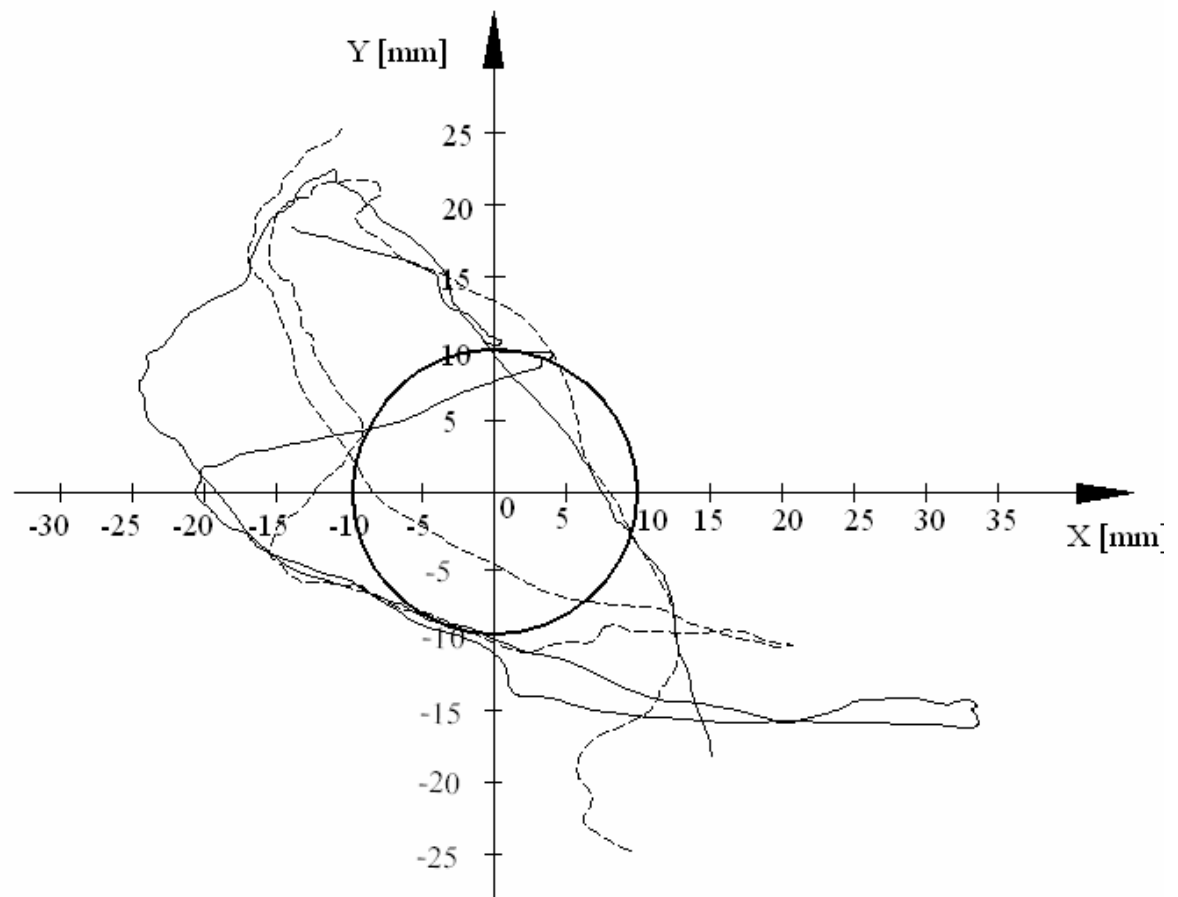
čia: m – savanorio kūno masė; h – savanorio ūgis (Ferrera 2005).

Atlikus pusiausvyros vertinimo tyrimus pastebėta, jog žmonių po smegenų insulto kūno masės centro (MC) svyravimai X ir Y ašimis yra 4 kartus didesni už sveikų savanorių kūno (MC) svyravimus. Sveikų savanorių kūno (MC) svyravimų maksimali amplitudė užsimerkus yra 1,5 karto didesnė nei atsimerkus, o patyrusių galvos smegenų insultą – 3,3 didesnė nei atsimerkus. Savanoriams, patyrusiems galvos smegenų insultą, atsimerkus dominuoja svyravimai X ašimi (į priekį ir atgal), o užsimerkus pastebimas svyravimų padidėjimas ir Y ašimi (į šonus).

Sveikų savanorių grupės kūno (MC) svyravimai lyginant su galvos smegenų insultą patyrusių savanorių duomenimis yra stabilūs ir telpa į 10 mm apskritimo ribas (28 ir 29 pav.).



28 pav. Sveikų asmenų posturograma stovint atsimerkus ir užsimerkus



29 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių asmenų posturograma stovint atsimerkus ir užsimerkus

Pagreičių matuokliu tiesiogiai matuojant masės centro svyravimus galima įvertinti žmogaus pusiausvyrą horizontaliojoje plokštumoje. Atlikus tyrimus pastebėta, kad savanorių, patyrusių galvos smegenų insultą, svyravimų amplitudė du kartus didesnė negu sveikų savanorių. Vizualinis aplinkos suvokimas turi įtakos žmogaus pusiausvyros stabilumui. Tiriant pusiausvyrą užmerktomis akimis, svyravimų amplitudės padidėjo. Pusiausvyros sutrikimams įtakos turi ne tik laikysenos ar sveikatos sutrikimai, bet ir kiekvieno žmogaus antropometriniai duomenys. Didelis kūno masės indeksas turi įtakos žmogaus kūno svyravimų augimui.

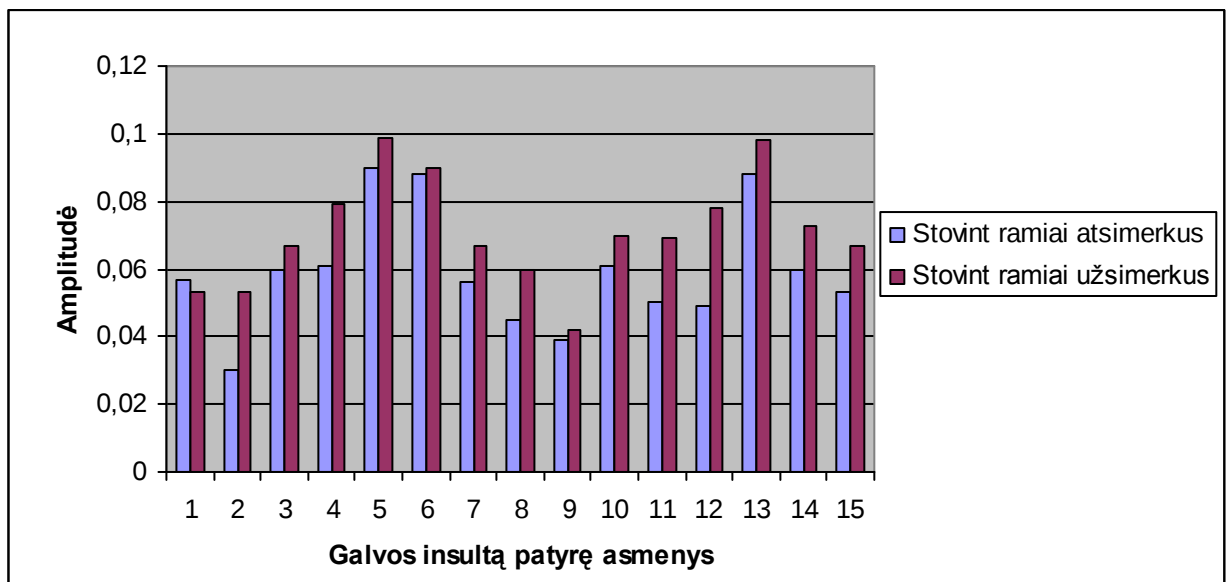
4.3. Amplitudės skaičiavimai naudojant kairės ir dešinės kojos spaudimo jėgos parametrus

Iš platformos duomenų taip pat galima apskaičiuoti žmogaus masės centro svyravimo amplitudę Y kryptimi pagal 17 formulę.

$$Y = \frac{(FK - FD) * \frac{a}{2}}{(FK + KD)}; \quad (20)$$

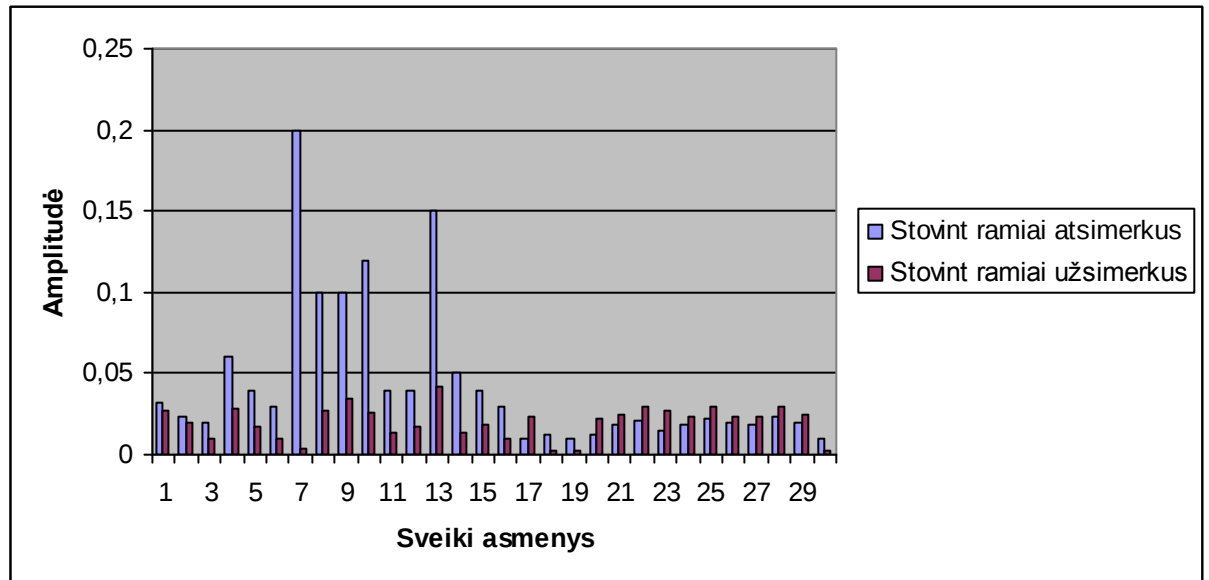
čia: Y – svyravimo amplitudė y kryptimi; FK – kairės kojos spaudimo jėga [N]; FD – dešinės kojos spaudimo jėga [N]; a – atstumas tarp kojų cm.

Norint nustatyti svyravimo amplitudę iš eksperimentiškai gautų jėgos platformos registruojamų duomenų reikia žinoti atstumą tarp žmogaus kojų. Priimama, kad atstumas tarp žmogaus kojų yra 20 cm. Skaičiuojama svyravimo amplitudė Y ašimi naudojant jėgos platformos registruojamus kairės ir dešinės kojų spaudimo jėgas.



30 pav. Galvos smegenų insultą patyrusių asmenų svyravimo amplitudė Y ašimi stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus

Iš 30 paveikslo matyti, kad galvos smegenų insultą patyrusių asmenų svyravimo amplitudė Y ašimi stovint ramiai atsimerkus svyruoja intervalu nuo 0,01 iki 0,03 cm ribose, o užsimerkus svyruoja intervale nuo 0,02 iki 0,9 cm ribose. Kaip ir buvo minėta, toks nežymus skirtumas tarp stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus svyravimo amplitudės Y ašimi yra dėl to, kad pacientui eliminavus vizualinę informaciją, kompensuodamas šį trūkumą laikėsi už turėklų, tai ir stabilizavo pusiausvyrą.



31 pav. Sveikų asmenų svyravimo amplitudė Y ašimi stovint ramiai atsimerkus ir užsimerkus

Sveikų asmenų svyravimo amplitudė Y ašimi stovint ramiai atsimerkus yra nuo 0,05 iki 0,034 mm intervale, o stovint užsimerkus svyravimo amplitudė yra nuo 0,01 iki 0,02 milimetrų intervale. O tai įrodo, kad eliminavus vizualinę informaciją pusiausvyra tampa nestabili, ir svyravimai didėja.

4.4. Stabilumo ribos

Kaip buvo minėta, kad pusiausvyros stabilumo ribas galima X ir Y kryptimi galima nustatyti naudojant (19) ir (20) formules:

$$X \leq \frac{b}{2}; \quad Y \leq \frac{a}{2};$$

b - priliginamas žmogaus pėdos ilgiui, o a – atstumas tarp abiejų kojų.

Žmogaus kūno segmentų ilgis nustatomas pagal žmogaus antropometrines normas. Atskiro kūno segmento ilgis skaičiuojamas pagal formulę (18).

$$l_n = k_i \cdot H;$$

čia l_n - atskiro kūno segmento ilgis, m; k_i - atskiro kūno segmento ilgio koeficientas; H - ūgis, m.

Pritikome (21) formulę (19) ir (20) išraiškom, gauname;

$$X \leq \frac{b}{2}; \quad b = H \cdot 0,152;$$

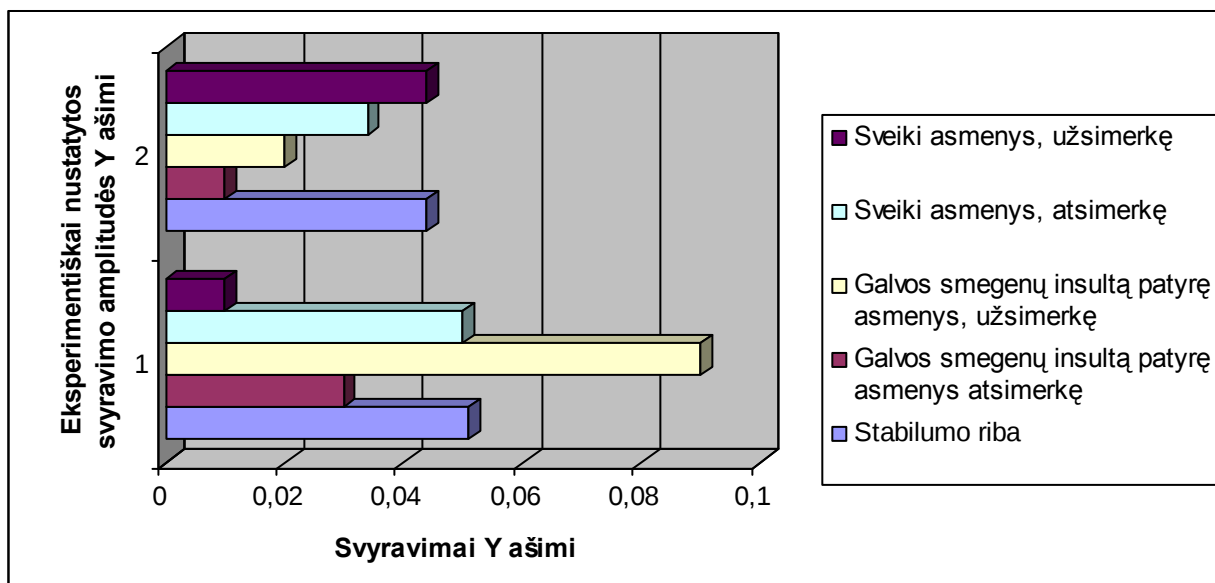
$$Y \leq \frac{a}{2}; \quad a = H \cdot 0,055; \quad (21)$$

Atlikus (21) formulės skaičiavus gaunamos tokios maksimalios ir minimalios stabilumo ribos X ir Y krypti:

X kryptimi (svyravimas į priekį) maksimali reikšmė 14 cm o min – 12 cm;

Y kryptimi (svyravimai atgal) maksimali reikšmė 0,051, o min – 0,044 cm.

Palyginus eksperimentiškai gautas amplitudes (svyravimus) iš jėgos platformos Y kryptimi (30, 31 pav.) galima teigti kad analitiškai nustatytos stabilumo ribos atitinka eksperimento rezultatus.



32 pav. Stabilumo ribos Y ašimi. 1 - minimalios reikšmės; 2 – maksimalios reikšmės

Į analitiškai nustatytas stabilumo ribas nepatenka galvos smegenų insultą patyrę asmenys stovint ramiai užsimerkus, iš sudaryto matematinio modelio galima teigti, kad žmogui viršijus stabilumo ribas jis turėtų jau žengti žingsnį arba griūti. Galvos smegenų insultą patyrė asmenys, tyrimo metu ant jėgos platformos užsimerkę stovėjo itin svyruodami, išsigandę jie griebdavosi už turėklų ir svyruodavo gan didelę amplitudę, bet laikymasis už turėklų neleido jiems nukristi. Bet atsižvelgus į peržengtas stabilumo ribas ir atmetus pusiausvyros stabilizatorių t.y., turėklus, žmogus turėtų būti pradėjęs žengti žingsnį arba nugriuvęs. Galima teigti kad žmogaus kūno masės centro stabilumo riba išreikšta atstumu (cm), būtų jo pėdos pusė ilgio. Kai kūno masės centras patenka už stabilumo ribų žmogus privalo žengti žingsnį, kad nenugriūtų arba griūva.

IŠVADOS

1. Pagreičių matuokliu tiesiogiai matuojant masės centro svyravimus galima įvertinti žmogaus pusiausvyrą horizontaliojoje plokštumoje. Atlikus tyrimus pastebėta, kad savanorių, patyrusių galvos smegenų insultą, svyravimų amplitudė du kartus didesnė negu sveikų savanorių.
2. Didesnes svyravimų amplitudes patvirtina ir platformos duomenų analizė. Sveikų savanorių kairės ir dešinės kojų spaudimo santykis yra tarp 0,9 ir 1, o galvos smegenų insultą patyrusių savanorių – mažesnis už 0,9.
3. Atlikus pusiausvyros vertinimo tyrimus pastebėta, jog žmonių po smegenų insulto kūno masės centro (MC) svyravimai X ir Y ašimis yra 4 kartus didesni už sveikų savanorių kūno (MC) svyravimus. Sveikų savanorių kūno (MC) svyravimų maksimali amplitudė užsimerkus yra 1,5 karto didesnė nei atsimerkus, o patyrusių galvos smegenų insultą – 3,3 didesnė nei atsimerkus.
4. Savanoriams, patyrusiems galvos smegenų insultą, atsimerkus dominuoja svyravimai X ašimi (į priekį ir atgal), o užsimerkus pastebimas svyravimų padidėjimas ir Y ašimi (į šonus).
5. Sveikų savanorių grupės kūno (MC) svyravimai lyginant su galvos smegenų insultą patyrusių savanorių duomenimis yra stabilūs ir telpa į 10 mm apskritimo ribas.
6. Vizualinis aplinkos suvokimas įtakoja žmogaus pusiausvyros stabilumą. Tiriant pusiausvyrą užmerktomis akimis, svyravimų amplitudės padidėjo, o santykinis svorio pasiskirstymas tarp dešinės ir kairės kojų buvo mažesnis.
7. Pusiausvyros sutrikimams įtakos turi ne tik laikysenos ar sveikatos sutrikimai, bet ir kiekvieno žmogaus antropometriniai duomenys. Didelis kūno masės indeksas turi įtakos žmogaus kūno svyravimų augimui.
8. Sudarytas ir išanalizuotas žmogaus pusiausvyros dinaminis – matematinis modelis. Nustatytos pusiausvyros stabilumo ribos X (svyravimai į priekį) kryptimi max reikšmė 14 cm o min – 12 cm. Y kryptimi (svyravimai atgal) max reikšmė 0,051, o min – 0,044 cm.
9. Nustatytos stabilumo ribos atitinka eksperimentiškai atliktų rezultatų reikšmes.

LITERATŪRA

1. Abraitis, R., Cibas, P., Gronow, G., ir kt. Žmogaus fiziologija. 2001. p. 478.
2. Andrews, W. Thomas M.W., Bohannon RW. Nominative values for isometric muscle force measurements obtained with hand-held dynamometers. 1996, p. 248-259.
3. Augustaitis V. K. Mechaninių virpesių pagrindai. Vilnius 2000 m. p 136.
4. Bobath B. Adult hemiplegia: evaluation and treatment. Butterworth-Heinemann, Oxford, 3 rd. eddition. 1990. p. 265.
5. Bohannon RW, Walsh S. Nature, reliability, and predictive value of muscle performance measures in patients with hemiparesis following stroke. Arch Phys Med Rehabil. 1992, p. 721-725.
6. Bohannon RW. Standing balance, lower extremity muscle strength, and walking performance of patients referred for physical therapy. Percept Mot Skills. 1995, p. 379-385.
7. Bohannon RW. Test-retest reliability of hand-held dynamometry during a single session of strength assessment. Phys Ther. 1986 p. 206-209.
8. Bortolami, S. B., DiZio, P., Rabin, E. Analysis of human postural responses to recoverable falls. Experimental Brain Research. 2003. 151, p. 387 – 404.
9. Bronstein, A.M., Guerraz, M. Visual-vestibular control of posture and gait: Physiological mechanisms and disorders. Current opinion in Neurology.1999, p. 5-11.
10. Brown M, Sinacore DR, Host HH. The relationship of strength to function in the older adult. J Gerontol. 1995, p. 55-59.
11. D.Lenzi , L. Chiari A. Cappello. Estimation of center of mass during standing: some remarks on inverted pendulum models. Proc. 24th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, Chicago, 2000, p.149-150.
12. Davies P.M. Steps to follow. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg. 1990. p. 514
13. Dawson, D. M., Slovik, D. M. Exercise in Rehabilitation Medicine. USA: Human Kinetics. 2006. p. 454.
14. Diamantopoulos, I. I., Clifford, E., Birchall, J. P. Short-term learning effects of practice during the performance of the tandem Romberg test. Clinical Oto-laryngology and Allied Sciences. 2003, 28 (4), p. 308-313.
15. Diamantopoulos, I. I., Clifford, E., Birchall, J. P. Short-term learning effects of practice during the performance of the tandem Romberg test. Clinical Oto-laryngology and Allied Sciences. 2003, 28 (4), p. 308-313.
16. Duarte, M., Harvey, W., Zatsiorsky, V. M. Stabilographic analysis of unconstrained

- standing. *Ergonomics*. 2000, 43 (11), p.1824-1839.
17. Duarte, M., Zatsiorsky, V. M. Effects of body lean and visual information on the equilibrium maintenance during stance. *Experimental Brain Research*. 2002, p.60 – 69.
 18. Flamrin E, Eklund G, Hillgren AK, Borges O, Hall J, Hellstrom O. Muscle strength and balance in poststroke patients. *Uppsala Med Sci*. 1982, p. 11-26.
 19. Gaigalienė, B. Pagyvenusių žmonių fizinis pajėgumas, aktyvus gyvenimo būdas ir sveikata. Vilnius: Eksperimentinės ir klinikinės medicinos institutas. Gerontologijos ir reabilitacijos centras. 1999. p. 276.
 20. Gauchard, G., Gangloff, P, Jeandel, C, Perrin, P. Physical activity improves gaze and posture control in the elderly. *Neuroscience Research*. 2003, 45, p. 409 – 417.
 21. Geiger R.A., Jeffery B.A., O'Keefe. Balance and mobility following stroke: effects of physical therapy intervention with and without biofeedback/forceplate training. *Physical therapy*. No. 4, 2001.
 22. Giacomini, P., Sorace, F., Margini A. Alterations in postural control: the use of spectral analysis in stability measurement. 1998, 18 (2), p. 83 – 87.
 23. Hortobagyi, T., Westerkamp, L., Beam, S. et al. Altered hamstring-quadriceps muscle balance in patients with knee osteoarthritis. *Clinical biomechanics*. 2005, 20(1), p. 97-104.
 24. J. W. Błaszczyk and W. Klonowski. Postural stability and fractal dynamics. *Acta Neurobiol. Exp.*, 61, 2001, p. 105-112.
 25. Jadelis, K., Miller, M. E., Ettinger, W H., Jr., Messier, S. P. Strength, balance, and the modifying effects of obesity and knee pain: Results from the Observational Arthritis Study in Seniors. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2001, 49 (7), p. 884 – 891.
 26. Juodžbalienė V., Muckus V.K. Pusiausvyros, atramos ploto ir regos sistemos tarpusavio priklausomybė. *Specialus ugdymas*. Nr. 1(14). 2006, p. 94-104. 2006
 27. Karlsson A, Fryberg G. Correlation between force plate measures for assessment of balance. *Clin Biomech*. 2000, p. 365-369.
 28. Krishnamoorthy, V., Slijper, H., Latash, M. Effects of different types of light touch on postural sway. *Experimental Brain Research*. 2002, 147 (1). p.71-79.
 29. L Baratto, P.G. Morraso, C.Re, and G.Spada. A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density vs. other parametrization techniques. *Motor Control*, 6, 2002, p. 246-270.
 30. L. Baratto, P.G. Morraso, C.Re, and G.Spada. A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density vs. other parametrization techniques. *Motor Control*, 6, 2002, p. 246-270.

31. Massion, J. Postural control system. Current Opinion in neurobiology. Marseille, France 1994, p. 4 – 8.
32. Moran, C. A., Carvalho, L. B., Prado, L. B., Prado, G. F. Sleep disorders and starting time to school impair balance in 5-year-old children. Arquivos de Neuro – Psiquiatria, 2005, 571-576.
33. Muckus K. Biomechanikos pagrindai. Lietuvos kūno kultūros akademija. Kaunas 2006. p. 303.
34. Muckus K. Biomechanikos pagrindai. Lietuvos kūno kultūros akademija. Kaunas 2006. p. 303.
35. Nadeau S, Gravel D, Arsensault AB, Bourbonnais D, Goyette M. Dynamometric assessment of the plantarflexors in hemiparetic subject: relations between muscular, gait and clinical parameters. Scand J Rehabil Med. 1997, p. 137-146; 1997.
36. Nougier, V. Contribution of central and peripheral vision to the regulation of stance: developmental aspects. Journal of experimental child psychology. Washington, DC, USA 1998, p. 68, 202 – 215.
37. Nougier, V. Contribution of central and peripheral vision to the regulation of stance: developmental aspects. Journal of experimental child psychology. Washington, DC, USA 1998, p. 68, 202 – 215.
38. Olney S.T, Griffin MP, Monga TN, McBride I. Work and power in gait of stroke patients. Arch Phys Med Rehabil. 1997, p. 309-314.
39. Olney S.T, Griffin MP, Monga TN, McBride I. Work and power in gait of stroke patients. Arch Phys Med Rehabil. 1991, p. 309-314.
40. P.G. Morraso and M.Schieppati. Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? Journal of Neurophysiology, 82, 1999, p. 1622-1626.
41. Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. Journal of Neurophysiology. 2002, 88 (3), p. 97 – 118.
42. Prentice W., Voight M. Techniques in Musculoskeletal Rehabilitation. McGraw-Hill, Philadelphia, PA, 2001. p. 780.
43. Prentice, W. E., Voight, M. I. Techniques in musculoskeletal rehabilitation. USA: The McGraw-Hill Companies. 2001, p. 376.
44. R. Jacobs. Control model of human stance using fuzzy logic. Biol.Cybern., 1997, p. 63-70.
45. Riccio GE., McDonald V. Methods for investigating adaptive postural control. In: Proc Satellite Meet Soc Neurosci. Los Angeles, CA 1998, Nov, p.6–7.
46. Stokes M., Mosby T. Neurologicalphysiotherapy. London: Mosby. 1998, p. 211.
47. Stonkus, S. Sporto terminų žodynas. KMU leidykla, Kaunas 2002, p. 739.

48. Teixeira da Cunha Filho L, Lim PA., Qureshy H. Acomparison of regular rehabilitation and regular rehabilitation with supported treadmill ambulation training for acute stroke patient. Journal of rehabilitation research and development. 2001, No. 2, p. 245-55.

PRIEDAS Nr. 1

Tiriamasis	Stebėjimas	Statistiniai įverčiai					Statistiniai įverčiai, tik skaičiuojant be 1/3 duomenų					Pastabos
		Kairės kojos vidurkis	Dešinės kojos vidurkis	Kairės kojos standartinis nuokrypis	Dešinės kojos standartinis nuokrypis	Kojų spaud imo santy kis	Kairės kojos vidurkis	Dešinės kojos vidurkis	Kairės kojos standartinis nuokrypis	Dešinės kojos standartinis nuokrypis	Kojų spaudimo santykis	
1 pacientas MC = 1,12	1.	419.57	471,21	3,29	1,48	0.89	420,68	470,88	2,97	1,44	0,89	Vyras 60m. 182 cm. 89 kg.
	2.	399,73	480,08	6,42	2,26	0,83	403,41	478,94	4,48	1,88	0,84	
	3.	430.75	473.73	3.84	2.94	0.90	432.92	471.98	2.11	1.78	0.91	
	4.	428.64	477.22	10.74	6.12	0.89	434.94	473.78	6.02	4.06	0.91	
	5.	417.38	468.91	5.09	3.042	0.89	420.18	467.25	2.98	2.00	0.89	
	6.	416.29	466.58	2.042	1.39	0.89	416.72	466.24	1.93	1.35	0.89	
2 pacientas MC = 1,16	1	468.49	439.12	1.89	3.78	0.93	468.24	439.58	2.14	4.29	0.93	Vyras 23 m. 190 cm. 86 kg.
	2	467.37	443.22	2.53	4.86	0.94	466.57	444.82	1.54	2.50	0.95	
	3	460.11	455.00	2.70	3.89	0.98	460.15	454.90	2.98	4.31	0.98	
	4	453.56	462.62	2.97	3.10	0.98	452.53	463.72	2.52	2.56	0.97	
	5	444.88	469.38	7.69	5.13	0.94	442.61	470.96	8.37	5.46	0.93	
	6	456.84	458.70	3.27	3.84	0.99	456.21	459.41	3.46	4.03	0.99	
3 pacientas MC = 1,08	1	367.43	385.70	1.21	1.25	0.95	366.98	386.16	1.13	1.00	0.95	Moteris 24 m. 177 cm. 62 kg.
	2	371.38	381.38	1.23	0.87	0.97	371.04	382.52	1.10	0.65	0.97	
	3	369.18	383.89	0.65	0.84	0.96	369.01	384.05	0.52	0.82	0.96	
	4	374.83	378.53	0.95	0.86	0.99	374.54	378.76	0.71	0.80	0.98	
	5	370.18	382.93	0.93	0.63	0.96	370.11	382.98	0.89	0.62	0.96	
	6	369.46	383.44	0.83	0.81	0.96	369.44	383.48	0.81	0.82	0.96	
4 pacientas MC = 1,06	1	393.28	377.3	2.36	3.63	0.95	394.66	375.21	1.30	2.00	0.95	Vyras 24 m. 179 cm. 65 kg.
	2	390.91	380.45	2.22	3.22	0.97	392.08	378.85	1.72	2.63	0.96	
	3	392.51	378.17	1.49	2.42	0.96	393.23	377.02	1.04	1.95	0.95	
	4	387.20	385.83	1.17	1.44	0.99	387.71	385.25	0.72	1.22	0.99	
	5	389.62	382.13	0.82	0.88	0.98	389.80	381.93	0.84	0.87	0.97	
	6	386.07	387.00	1.85	2.13	0.99	387.11	385.88	1.12	1.36	0.99	

5 pacientas MC = 1,09	1	430.05	435.36	3.34	3.37	0.98	429.49	435.95	3.46	3.46	0.98	Moteris 23 m. 178 cm 74 kg.
	2	434.75	429.30	3.34	4.64	0.98	433.57	431.24	1.10	1.45	0.99	
	3	434.90	428.59	4.13	6.03	0.98	433.95	429.87	4.33	6.23	0.99	
	4	440.04	420.77	2.19	3.71	0.95	440.66	419.78	1.74	3.08	0.95	
	5	436.13	427.27	2.53	3.73	0.97	436.12	427.28	2.76	4.11	0.97	
	6	419.56	444.00	5.18	4.08	0.94	417.22	445.84	3.53	2.58	0.93	
6 pacientas MC = 1,10	1	574.39	631.76	10.75	5.36	0.90	569.33	634.25	8.08	3.57	0.89	Moteris 23 m. 180 cm. 100 kg.
	2	608.77	604.48	6.29	9.35	0.99	608.57	604.80	6.40	8.89	0.99	
	3	617.35	588.70	7.03	13.19	0.95	618.41	587.29	4.89	10.76	0.94	
	4	568.37	633.06	20.18	9.75	0.89	572.48	630.75	22.59	10.94	0.90	
	5	613.48	597.01	4.27	7.78	0.97	614.10	595.77	4.62	8.35	0.97	
	6	596.19	616.23	14.11	10.04	0.96	600.60	613.71	6.94	6.96	0.97	
7 pacientas MC = 1,14	1	452.84	446.21	2.68	3.71	0.98	451.60	448.11	2.36	2.95	0.99	Vyras 21 m. 186 cm. 75 kg.
	2	448.72	451.77	1.12	1.35	0.99	449.00	451.45	0.81	1.08	0.99	
	3	438.92	460.77	2.47	1.91	0.95	438.21	461.32	2.60	2.01	0.94	
	4	449.17	450.96	2.41	2.76	0.99	448.08	452.27	2.07	2.26	0.99	
	5	448.96	451.15	2.67	3.19	0.99	447.68	452.76	1.97	2.08	0.98	
	6	453.45	445.47	1.80	2.65	0.98	452.73	446.68	1.15	1.29	0.98	
8 pacientas MC = 1,13	1	531.94	557.33	2.30	1.93	0.95	532.78	556.69	2.28	1.92	0.95	Vyras 28 m. 186 cm. 90 kg.
	2	533.91	555.72	2.93	2.37	0.96	533.68	555.89	3.44	2.75	0.96	
	3	506.55	570.77	4.23	1.94	0.88	506.60	570.71	4.82	2.13	0.88	
	4	496.42	574.16	5.04	2.05	0.86	494.93	574.67	3.78	1.72	0.86	
	5	511.86	568.52	5.24	2.60	0.90	512.27	568.30	5.86	2.84	0.90	
	6	518.93	565.03	5.18	2.85	0.91	517.05	566.04	4.55	2.42	0.91	
9 pacientas MC = 1,02	1	337.97	332.03	0.57	0.67	0.98	337.97	332.06	0.55	0.66	0.98	Moteris 25 m. 168 cm. 50 kg.
	2	343.50	323.01	0.89	1.62	0.94	343.84	322.37	0.82	1.51	0.93	
	3	341.54	326.60	1.24	1.59	0.95	341.89	326.18	1.02	1.38	0.95	
	4	346.39	317.44	2.67	5.29	0.91	347.97	314.33	1.50	3.10	0.90	
	5	342.76	324.79	0.60	0.91	0.94	342.72	324.90	0.61	0.92	0.94	
	6	340.21	328.58	1.10	1.33	0.96	339.95	328.90	0.82	0.96	0.96	

10 pacientas MC = 1,12	1	399.99	408.18	1.22	1.30	0.97	399.57	408.59	0.94	1.04	0.97	Vyras 26 m. 183 cm. 65 kg.
	2	400.59	407.52	1.44	1.49	0.98	401.00	407.14	1.33	1.40	0.98	
	3	396.53	411.16	2.81	2.44	0.96	397.92	410.02	1.93	1.80	0.97	
	4	405.23	401.77	1.38	1.55	0.99	404.86	402.18	1.22	1.49	0.99	
	5	394.03	413.20	2.37	1.95	0.95	393.21	413.86	2.29	1.86	0.95	
	6	388.72	417.04	3.27	2.24	0.93	390.10	416.16	2.62	1.98	0.93	
11 pacientas MC = 1,06	1	348.65	364.45	2.01	1.72	0.95	348.13	364.90	1.40	1.15	0.95	Moteris 24 m. 173 cm. 58 kg.
	2	352.85	360.81	1.34	1.38	0.97	352.52	361.16	1.23	1.31	0.97	
	3	345.79	366.58	1.57	1.34	0.94	345.45	366.84	1.31	1.20	0.94	
	4	347.14	365.61	1.42	1.16	0.94	346.70	365.95	1.08	0.88	0.94	
	5	353.22	360.40	1.13	1.19	0.98	352.99	360.62	0.80	0.93	0.97	
	6	346.79	365.02	2.00	1.60	0.95	346.55	365.27	1.40	1.04	0.94	
12 pacientas MC = 1,15	1	458.00	420.61	1.22	1.96	0.91	457.78	421.12	1.26	1.91	0.91	Vyras 23 m. 187 cm. 91 kg.
	2	445.84	441.81	1.38	1.69	0.99	445.44	442.29	1.02	1.27	0.99	
	3	442.49	445.95	1.76	2.07	0.99	442.33	446.12	1.78	2.11	0.99	
	4	449.14	437.17	1.32	1.94	0.97	449.49	436.60	1.19	1.73	0.97	
	5	443.77	444.71	1.30	1.74	0.99	443.36	445.33	1.15	1.41	0.99	
	6	447.58	439.78	1.63	2.06	0.98	448.02	439.29	1.31	1.70	0.98	
13 pacientas MC = 1,00	1	442.86	468.16	2.34	1.77	0.94	442.41	468.56	1.97	1.42	0.94	Moteris 23 m 160 cm 76 kg
	2	456.26	454.79	4.51	5.84	0.99	458.14	452.36	4.13	5.50	0.98	
	3	453.36	458.88	1.52	1.59	0.98	453.41	458.87	1.51	1.59	0.98	
	4	440.62	469.61	2.62	1.94	0.93	440.11	469.97	1.98	1.64	0.93	
	5	448.07	463.25	2.45	2.31	0.96	447.96	463.38	2.01	1.97	0.96	
	6	446.96	464.24	2.16	1.94	0.96	447.44	463.82	1.91	1.74	0.96	
14 pacientas MC = 0,99	1	388.28	377.39	2.07	3.06	0.97	389.31	375.80	1.33	2.11	0.96	Moteris 24 m. 161 cm 53 kg
	2	393.62	368.34	1.68	3.25	0.93	394.38	366.73	1.37	2.57	0.92	
	3	402.11	348.18	1.11	2.17	0.86	402.57	346.99	0.74	1.23	0.86	
	4	398.33	354.76	7.54	15.05	0.89	396.58	358.30	8.48	16.53	0.90	
	5	384.80	379.39	9.36	11.83	0.98	388.23	375.58	6.76	9.89	0.96	
	6	385.09	381.50	0.93	0.90	0.99	385.12	381.47	0.89	0.85	0.99	

15 pacientas MC = 1,01	1	513.55	521.26	3.21	3.36	0.98	512.23	522.72	2.85	2.81	0.97	Moteris 24 m 165 cm 73 kg
	2	516.03	518.21	4.40	5.24	0.99	514.41	520.23	3.92	4.38	0.98	
	3	512.75	522.23	3.00	3.13	0.98	512.65	522.40	2.83	3.00	0.98	
	4	509.94	524.15	8.36	7.15	0.97	513.14	521.53	5.23	5.81	0.98	
	5	518.51	515.46	3.44	4.39	0.99	519.05	514.74	3.42	4.44	0.99	
	6	516.99	517.57	4.03	4.71	0.99	518.40	515.89	3.61	4.34	0.99	
16 pacientas MC = 1,12	1	479.51	475.53	1.76	2.33	0.99	478.99	476.28	1.68	2.13	0.99	Vyras 25 m 182 cm 87 kg
	2	479.03	476.18	2.02	2.63	0.99	478.19	477.38	1.24	1.30	0.99	
	3	478.75	476.73	0.99	1.20	0.99	478.64	476.91	0.96	1.09	0.99	
	4	474.98	480.81	1.53	1.81	0.98	474.61	481.27	1.27	1.56	0.98	
	5	469.17	486.32	2.09	1.87	0.96	468.41	486.98	1.74	1.55	0.96	
	6	472.56	483.02	2.98	2.98	0.97	472.33	483.30	3.10	3.00	0.97	
17 pacientas MC = 1,16	1	579.18	571.51	2.39	3.64	0.98	578.07	573.34	1.93	2.71	0.99	Vyras 26 m 189 cm 97 kg
	2	577.47	574.56	1.55	1.87	0.99	577.22	574.89	1.59	1.90	0.99	
	3	578.06	573.89	1.57	2.06	0.99	577.90	574.11	1.70	2.24	0.99	
	4	572.30	581.04	2.77	2.92	0.98	571.28	582.20	2.56	2.55	0.98	
	5	572.80	580.73	2.10	2.12	0.98	572.47	581.13	2.01	1.94	0.98	
	6	567.04	586.15	3.20	3.00	0.96	565.88	587.22	2.16	1.95	0.96	
18 pacientas MC = 1,04	1	384.79	376.68	0.98	1.38	0.97	384.57	377.00	0.88	1.30	0.98	Vyras 26 m 169 cm 65 kg
	2	378.15	385.21	0.85	1.28	0.98	378.22	385.15	0.72	1.22	0.98	
	3	380.67	382.47	1.55	1.43	0.99	381.40	381.85	1.29	1.12	0.99	
	4	378.41	384.63	1.69	1.89	0.98	379.15	383.80	1.10	1.32	0.98	
	5	386.81	374.09	2.13	3.09	0.96	385.79	375.64	1.50	1.80	0.97	
	6	372.34	390.19	2.42	2.08	0.95	372.75	389.85	2.48	2.21	0.95	
19 pacientas MC = 1,00	1	354.67	348.37	1.20	1.61	0.98	354.19	349.09	0.80	1.16	0.98	Moteris 26 m 159 cm 51 kg
	2	359.22	341.09	0.92	1.40	0.94	358.81	341.82	0.55	0.74	0.95	
	3	355.06	347.50	1.18	1.50	0.97	354.62	348.07	0.96	1.43	0.98	
	4	357.05	345.00	1.04	1.42	0.96	356.73	345.62	0.92	0.80	0.96	
	5	354.20	348.78	0.53	0.93	0.98	354.17	348.83	0.52	0.92	0.98	
	6	357.02	345.16	0.83	0.97	0.96	357.12	345.03	0.78	1.00	0.96	

20 pacientas MC = 1,12	1	441.14	456.25	9.57	8.45	0.96	447.33	450.87	2.92	3.78	0.99	Vyras 60m. 182 cm. 89 kg.
	2	433.24	483.29	5.96	2.85	0.89	430.94	484.38	5.25	2.38	0.88	
	3	448.11	474.41	6.72	5.14	0.94	444.77	476.99	4.75	2.93	0.93	
	4	447.77	474.71	5.19	3.93	0.94	445.77	476.28	3.62	2.36	0.93	
	5	442.92	477.61	7.64	5.01	0.92	438.66	480.39	4.66	2.60	0.91	
	6	433.76	482.35	6.42	3.08	0.89	430.91	483.69	5.30	2.47	0.89	
21 pacientas MC = 1,04	1	447.14	367.87	5.99	17.29	0.82	447.95	364.76	5.36	16.36	0.81	Moteris 69m. 170 cm. 91 kg.
	2	452.85	425.17	5.03	9.10	0.93	452.61	425.75	4.76	8.39	0.94	
	3	441.72	442.64	6.38	7.66	0.99	439.37	445.71	5.11	5.87	0.98	
	4	444.33	438.28	8.16	10.52	0.98	441.41	442.73	6.86	7.76	0.99	
	5	447.77	433.56	6.95	10.60	0.96	444.65	438.62	6.32	8.82	0.98	
	6	461.11	403.58	3.86	10.73	0.87	459.30	408.93	2.54	6.35	0.89	
22 pacientas MC = 0,98	1	521.93	523.51	1.26	1.22	0.99	522.38	523.13	1.19	1.09	0.99	Moteris 32 m. 160 cm. 93 kg.
	2	521.64	523.48	2.60	3.23	0.99	523.10	521.68	1.66	2.17	0.99	
	3	522.26	522.17	2.75	3.42	0.99	523.60	520.44	1.77	2.27	0.99	
	4	523.65	520.15	1.79	2.38	0.99	524.53	518.99	1.16	1.66	0.98	
	5	513.84	530.57	2.16	1.97	0.96	515.06	529.50	1.33	1.39	0.97	
	6	524.17	518.96	1.10	1.54	0.99	524.21	518.93	0.70	0.86	0.98	
23 pacientas MC = 1,04	1	443.64	451.94	2.25	2.36	0.98	443.99	451.58	1.97	2.09	0.98	Vyras 36 m. 169 cm. 76 kg.
	2	443.64	451.68	3.07	3.15	0.98	442.42	452.94	2.57	2.51	0.97	
	3	445.59	449.54	2.63	2.93	0.99	445.91	449.17	3.04	3.37	0.99	
	4	441.34	453.73	2.98	2.79	0.97	441.29	453.81	2.79	2.67	0.97	
	5	446.46	448.28	2.79	3.23	0.99	447.12	447.48	2.82	3.35	0.99	
	6	435.39	458.59	3.02	2.30	0.94	436.06	458.11	2.93	2.30	0.95	
24 pacientas MC = 1,02	1	305.77	334.10	1.70	1.22	0.91	306.60	333.59	1.39	0.91	0.91	Moteris 25 m. 167 cm. 49 kg.
	2	309.31	332.00	0.87	0.74	0.93	309.30	332.01	0.64	0.66	0.93	
	3	307.49	333.08	0.85	0.69	0.92	307.53	333.06	0.91	0.70	0.92	
	4	315.433	326.56	2.34	2.07	0.96	316.71	325.49	1.22	1.26	0.97	
	5	311.423	330.09	1.52	1,36	0.94	311.93	329.73	1.21	1.22	0.94	
	6	316.05	326.25	1.55	1.56	0.96	315.82	326.51	1.22	1.20	0.82	

25 pacientas MC = 1,10	1	442.09	501.77	2.58	1.50	0.88	440.97	502.26	1.94	1.35	0.87	Vyras 38 m. 179 cm. 82 kg.
	2	472.75	482.85	1.46	1.42	0.97	472.65	482.95	1.62	1.58	0.97	
	3	474.06	481.33	1.58	1.82	0.98	473.41	482.17	1.02	0.99	0.98	
	4	468.20	486.70	1.21	0.98	0.96	468.14	486.78	1.07	0.82	0.96	
	5	468.57	486.25	1.48	1.35	0.96	468.87	486.01	1.57	1.48	0.96	
	6	468.60	486.12	0.97	0.90	0.96	468.43	486.29	0.87	0.75	0.96	
26 pacientas MC = 1,06	1	538.78	545.42	1.95	2.26	0.98	538.07	546.26	1.70	1.90	0.98	Vyras 32 m. 182 cm. 95 kg.
	2	538.25	545.82	1.90	2.07	0.98	538.99	545.06	1.34	1.60	0.98	
	3	550.71	526.36	1.42	2.41	0,95	550.27	527.16	1.04	1.79	0,95	
	4	541.51	540.61	4.01	6.77	0,99	539.82	543.29	1.45	1.86	0.99	
	5	526.14	555.45	4.37	3.47	0.94	523.76	557.26	1.82	1.50	0.93	
	6	529.71	552.59	3.68	3.27	0,95	527.85	554.23	2.22	1.67	0,95	
27 pacientas MC = 1,33	1	437.72	437.72	1.04	2.73	0.96	454.36	436.75	1.11	2.65	0.96	Vyras 25 m. 183 cm. 75 kg.
	2	448.61	443.60	1.86	3.01	0.98	449.55	442.22	1.02	1.86	0.98	
	3	448.44	444.70	1.11	2.17	0.99	448.53	444.13	1.07	2.20	0.99	
	4	453.84	433.85	1.19	2.15	0.95	453.64	434.09	1.18	2.11	0.95	
	5	458.57	426.93	1.43	3.98	0.93	459.03	425.36	1.27	3.50	0.92	
	6	455.04	431.78	1.00	2.08	0.94	454.83	431.80	0.91	1.97	0.94	
28 pacientas MC = 1,13	1	400.66	397.18	1.37	1.60	0.99	400.60	397.41	1.16	1.32	0.99	Moteris 25m. 176 cm 64 kg
	2	401.95	394.37	1.16	1.74	0.98	401.95	393.98	1.04	1.57	0.98	
	3	400.71	395.84	1.25	1.46	0.98	400.56	395.69	1.11	1.28	0.98	
	4	398.23	399.91	1.13	1.19	0.99	398.64	399.53	0.69	0.90	0.99	
	5	399.91	397.64	1.76	2.20	0.99	399.14	398.63	1.31	1.68	0.99	
	6	403.66	392.38	1.27	1.89	0.97	403.93	391.93	0.99	1.48	0.97	
29 pacientas MC = 1,14	1	398.07	445.88	7.88	3.25	0.89	398.64	445.56	8.94	3.58	0.89	Vyras 22 m. 186 cm. 72 kg.
	2	342.89	464.94	6.78	3.04	0.73	345.12	464.03	6.64	2.94	0.74	
	3	399.35	445.41	6.90	3.27	0.89	402.69	443.86	5.24	2.63	0.90	
	4	396.29	447.10	3.07	1.67	0.88	397.10	446.74	3.03	1.62	0.88	
	5	379.63	453.10	5.95	2.19	0.83	380.59	452.78	6.37	2.32	0.84	
	6	362.79	458.30	11.48	3.70	0.79	366.45	457.16	11.61	3.71	0.80	

30 pacientas MC = 0,98	1	361.48	376.79	1.57	1.46	0.95	362.20	376.23	1.35	1.40	0.96	Moteris 26 m. 160 cm. 53 kg.
	2	368.95	369.27	0.65	0.83	0.99	368.88	369.35	0.67	0.86	0.99	
	3	368.34	369.88	0.62	0.95	0.99	368.39	369.81	0.61	0.92	0.99	
	4	368.16	370.02	0.72	1.10	0.99	367.95	370.32	0.67	1.10	0.99	
	5	368.75	369.06	0.68	0.85	0.99	368.50	369.37	0.57	0.72	0.99	
	6	368.68	368.87	0.74	0.99	0.99	368.49	369.14	0.64	0.83	0.99	
31 pacientas MC = 1,00	1	365.94	385.75	1.74	1.56	0.94	365.30	386.22	1.19	1.07	0.94	Moteris 25 m. 165 cm. 56 kg.
	2	370.59	381.64	1.46	1.16	0.97	369.89	382.14	1.18	0.90	0.96	
	3	363.29	387.30	1.04	0.93	0.93	362.84	387.62	0.60	0.70	0.93	
	4	362.10	388.07	1.79	1.46	0.93	361.51	388.50	1.15	1.10	0.93	
	5	368.54	382.82	0.81	0.77	0.96	368.21	383.10	0.52	0.60	0.96	
	6	367.87	383.27	1.09	1.01	0.95	367.43	383.65	0.85	0.86	0.95	
32 pacientas MC = 1,10	1	447.63	439.95	2.11	2.87	0.98	448.53	438.79	1.90	2.73	0.97	Vyras 27 m. 179 cm. 82 kg
	2	436.77	452.09	1.63	1.49	0.96	437.09	451.83	1.60	1.42	0.96	
	3	436.49	452.23	3.48	3.00	0.96	438.52	450.56	2.10	2.00	0.97	
	4	454.70	427.36	2.62	4.91	0.93	456.10	424.60	1.55	2.95	0.93	
	5	440.71	448.25	2.62	2.83	0.98	441.51	447.40	2.60	2.88	0.98	
	6	437.44	451.51	1.97	1.80	0.96	437.54	451.39	2.08	1.91	0.96	
33 pacientas MC = 1,12	1	470.51	477.34	1.66	1.71	0.98	470.15	477.75	1.69	1.75	0.98	Vyras 28 m. 183 cm 95 kg.
	2	472.25	475.60	1.51	1.58	0.99	472.93	474.95	1.24	1.42	0.99	
	3	458.22	487.57	4.03	3.01	0.93	460.05	486.29	3.63	2.80	0.94	
	4	476.26	470.28	1.47	1.83	0.98	476.71	469.69	1.41	1.62	0.98	
	5	474.72	472.45	1.12	1.57	0.99	474.30	473.11	0.81	1.10	0.99	
	6	472.88	474.77	1.64	1.90	0.99	472.32	475.49	1.49	1.55	0.99	
34 pacientas MC = 1,01	1	376,81	332,28	3,56	17,06	0,88	376,42	333,73	4,18	19,79	0,88	Vyras 72 m. 165 cm. 89 kg
	2	389,64	310,04	11,06	34,41	0,79	396,12	289,13	7,17	20,7	0,72	
	3	387,41	297,11	2,40	13,62	0,76	388,71	288,7	1,69	6,41	0,74	
	4	382,08	321,61	5,40	19,99	0,84	385,29	309,03	2,12	9,87	0,80	
	5	390,75	290,89	5,26	16,76	0,74	393,64	280,96	3,35	8,21	0,71	
	6	384,69	293,19	2,39	8,69	0,76	385,97	287,95	1,77	4,71	0,74	

Žingsn.	1	338,40	274,56	180,24	161,85	0,81	328,95	277,02	183,72	164,21	0,84	
	2	317,42	298,34	182,20	172,95	0,93	319,46	293,92	179,91	172,89	0,92	
	3	306,56	287,52	174,10	166,54	0,93	299,27	289,73	170,01	164,86	0,96	
Žiūrėjimas į stulpelius	1	371,35	342,91	2,67	10,52	0,92	371,73	338,42	2,37	9,22	0,91	
	2	378,19	340,95	1,56	8,53	0,90	378,81	336,87	1,40	7,63	0,88	
	3	380,94	311,79	1,98	9,91	0,81	381,99	306,74	1,28	7,29	0,80	
35 pacientas	1	436,08	622,38	39,67	29,96	0,70	427,86	629,32	45,88	34,36	0,67	Vyras 65 m. 178 cm. 100 kg
MC = 1,09	2	321,90	729,98	27,18	28,13	0,44	304,74	747,74	14,08	14,66	0,40	
	3	316,30	735,75	14,50	15,07	0,42	320,17	742,12	10,40	10,81	0,41	
	4	424,32	628,68	11,32	9,26	0,67	423,00	629,62	8,43	7,12	0,67	
	5	399,26	651,14	16,30	15,37	0,61	406,09	644,64	12,72	11,69	0,62	
	6	407,88	642,69	14,10	12,93	0,63	411,10	639,78	14,86	13,61	0,64	
Žingsn.	1	394,64	508,49	255,38	302,46	0,77	391,68	508,64	252,56	303,12	0,77	
	2	392,79	519,01	254,88	259,31	0,75	394,42	506,63	254,31	294,374	0,77	
	3	392,20	525,43	256,37	293,91	0,75	399,44	527,59	259,05	298,08	0,75	
Žiūrėjimas į stulpelius	1	549,59	559,70	6,86	8,42	0,98	549,014	560,46	6,46	7,58	0,97	
	2	542,99	564,66	13,94	10,20	0,96	546,78	563,78	4,68	4,49	0,96	
	3	547,48	562,07	5,14	5,85	0,97	547,80	562,02	4,09	4,81	0,97	
36 pacientas	1	427,23	427,87	1,63	1,77	0,99	426,54	428,63	1,38	1,34	0,99	Vyras 76 m. 175 cm. 88 kg
MC = 1,07	2	404,02	445,32	3,79	1,87	0,90	404,81	444,68	3,83	1,72	0,91	
	3	368,07	458,45	1,78	3,97	0,80	366,63	458,90	13,33	4,52	0,79	
	4	393,50	450,01	7,58	2,81	0,87	390,45	451,20	7,23	2,45	0,86	
	5	380,24	454,49	12,68	4,29	0,83	374,05	456,60	9,91	3,23	0,81	
	6	412,07	440,25	6,85	4,53	0,93	409,74	441,85	6,67	4,05	0,92	
Žingsn.	1	427,81	378,69	196,66	197,99	0,88	433,68	369,94	203,66	204,92	0,85	
	2	425,82	379,05	209,84	209,84	0,89	434,91	370,77	204,97	206,43	0,85	
	3	421,07	384,42	195,71	197,71	0,91	432,50	373,69	191,58	194,58	0,86	

Žiūrėjimas į stulpelius	1	413,75	438,82	6,68	5,07	0,94	409,71	441,90	3,58	2,22	0,92	
	2	397,59	448,27	4,73	2,18	0,88	395,30	449,33	3,49	1,50	0,87	
	3	406,73	443,44	7,92	4,58	0,91	402,57	445,95	5,90	3,00	0,90	
37 pacientas MC = 1,13	1	407,98	618,86	8,76	7,72	0,65	404,03	622,31	6,31	5,28	0,64	Vyras 72 m. 184 cm. 110kg.
	2	446,19	590,99	24,65	14,34	0,75	447,72	590,20	25,90	13,65	0,75	
	3	400,38	625,10	18,38	15,66	0,64	398,49	626,80	17,41	15,13	0,63	
	4	405,95	626,67	34,35	27,16	0,64	411,21	622,47	34,55	25,11	0,66	
	5	397,57	628,29	14,06	12,59	0,63	397,61	628,28	13,33	11,93	0,63	
	6	380,18	645,19	23,66	22,94	0,58	391,74	633,94	16,59	15,44	0,61	
Žingsn.	1	394,48	532,70	254,79	278,17	0,74	392,19	536,16	256,05	278,98	0,73	
	2	418,37	509,25	260,46	293,13	0,82	436,85	491,28	259,41	292,41	0,88	
Žiūrėjimas į stulpelius	3	414,94	527,90	257,86	286,62	0,78	415,25	519,58	261,49	287,71	0,79	
	1	509,20	562,53	29,71	15,11	0,90	505,15	564,14	31,63	16,22	0,89	
	2	512,44	559,05	25,78	15,23	0,91	510,13	559,89	27,62	16,45	0,91	
	3	480,19	572,59	57,56	44,06	0,83	461,77	587,05	54,44	35,25	0,78	
38 pacientas MC = 1,07	1	374.56	408.20	4.01	1.46	0.92	376.27	407.98	3.79	1.49	0.92	Vyras 78 m. 175 cm. 79 kg.
	2	357.70	410.44	4.98	2.32	0.87	354.68	411.71	2.01	1.48	0.86	
	3	354.91	401.27	2.29	1.54	0.88	354.86	401.62	2.42	1.64	0.88	
	4	374.74	395.37	4.68	4.26	0.95	372.04	397.55	1.64	1.32	0.94	
	5	370.78	400.70	1.85	1.66	0.93	370.59	401.47	1.93	1.28	0.92	
	6	376.03	398.20	7.66	4.40	0.94	371.86	400.50	5.74	3.30	0.93	
39 pacientas MC = 1,01	1	341.36	298.44	3.04	6.15	0.87	339.71	295.49	2.21	5.26	0.87	Vyras 72 m. 165 cm. 89 kg
	2	354.07	380.02	7.97	5.08	0.93	354.56	379.76	7.40	5.08	0.93	
	3	363.06	372.66	8.29	6.36	0.97	361.41	373.88	9.51	7.17	0.96	
	4	352.17	380.71	13.85	8.08	0.93	347.60	383.53	14.32	7.75	0.91	
	5	344.71	386.21	8.00	4.35	0.89	340.87	388.07	5.65	3.02	0.88	
	6	339.98	388.49	12.01	5.53	0.88	338.15	389.91	8.38	3.60	0.87	
Žingsn.	1	301.02	317.95	168.19	159.14	0.95	294.83	328.83	164.47	153.02	0.90	

Žiūrėjimas į stulpelius	2	289.19	297.26	172.15	154.06	0.97	290.79	287.42	167.50	148.45	0.99	
	3	300.30	306.88	178.24	169.52	0.98	311.47	299.85	179.06	170.42	0.96	
	1	262.63	418.92	67.53	32.78	0.63	242.41	427.62	72.60	36.24	0.57	
	2	321.06	394.29	13.76	4.74	0.81	315.49	396.21	10.86	3.40	0.80	
	3	334.61	389.94	8.53	3.15	0.86	332.42	390.79	9.39	3.33	0.85	
40 pacientas	1	465.06	586.51	6.67	3.10	0.79	466.16	586.04	6.81	3.10	0.80	Vyras 65 m. 178 cm. 100 kg
MC = 1,09	2	388.60	642.40	7.76	7.65	0.60	388.89	642.14	7.14	7.12	0.61	
	3	371.83	659.37	17.46	17.34	0.56	364.66	666.50	13.99	14.01	0.55	
	4	456.49	590.44	12.91	7.00	0.77	457.94	589.56	11.90	6.27	0.78	
	5	430.37	606.27	11.90	9.15	0.71	434.88	602.86	8.38	5.91	0.72	
	6	427.21	608.79	15.15	11.58	0.70	434.03	603.59	11.58	8.22	0.72	
41 pacientas	1	422.75	423.36	2.39	2.93	0.99	423.72	422.22	1.43	1.95	0.99	Vyras 76 m. 175 cm. 88 kg
MC = 1,07	2	423.23	423.08	1.27	1.60	0.99	423.10	423.22	1.31	1.56	0.99	
	3	419.12	427.46	2.27	2.40	0.98	418.96	427.79	1.76	1.86	0.98	
	4	423.33	422.34	4.18	5.75	0.99	423.05	422.81	4.24	5.69	0.99	
	5	406.20	403.50	2.64	1.87	0.99	407.57	402.67	2.15	1.66	0.99	
	6	415.31	409.20	1.05	0.85	0.99	415.65	409.01	1.10	0.91	0.98	
42 pacientas	1	433.24	606.83	75.50	50.05	0.71	466.66	585.15	71.80	47.94	0.80	Vyras 72 m. 184 cm. 110kg.
MC = 1,13	2	474.59	573.11	40.16	24.62	0.83	470.11	573.83	35.62	24.43	0.82	
	3	505.21	557.11	55.99	35.41	0.91	532.77	541.17	14.88	13.98	0.98	
	4	378.70	638.12	36.02	32.94	0.59	376.83	639.58	40.47	36.73	0.59	
	5	389.70	683.12	37.04	33.87	0.68	386.86	685.86	42.56	35.33	0.63	
	6	402.55	600.24	9.75	7.38	0.67	401.05	601.52	7.30	5.86	0.67	
43 pacientas	1	443.79	375.00	2.66	4.73	0.85	444.52	374.65	1.95	3.80	0.84	Vyras 59 m. 187 cm. 85 kg.
MC = 1,15	2	437.32	388.61	5.84	10.80	0.89	434.93	393.44	5.56	9.88	0.90	
	3	427.45	417.88	3.93	4.42	0.98	429.43	416.22	2.98	4.41	0.97	
	4	446.13	382.49	6.65	12.73	0.86	445.60	385.49	7.78	13.98	0.87	
	5	436.16	411.21	4.55	4.13	0.94	438.55	409.30	2.78	3.12	0.93	
	6	443.60	398.47	3.90	10.91	0.90	445.43	392.92	2.86	8.80	0.88	

44 pacientas MC = 1,12 Žingsn.	1	423.88	458.66	3.56	2.25	0.92	423.50	458.89	3.42	2.05	0.92	Moteris 69 m. 170 cm. 91 kg.
	2	421.55	457.04	4.93	3.34	0.92	419.56	458.57	3.16	1.88	0.91	
	3	443.85	437.75	2.83	3.65	0.99	442.66	439.67	2.41	2.50	0.99	
	4	431.35	451.08	4.52	3.56	0.96	429.81	452.26	3.96	3.05	0.95	
	5	439.32	448.13	4.58	3.98	0.98	437.57	449.75	3.17	2.23	0.97	
	6	439.97	447.86	4.60	4.31	0.98	437.89	449.79	3.59	3.14	0.97	
	7	417.59	411.08	247.89	254.83	0.98	404.76	423.25	244.12	252.84	0.96	
	8	420.60	407.69	256.20	262.86	0.97	420.38	408.37	253.31	261.85	0.97	
	9	410.16	417.87	244.94	251.03	0.98	410.96	416.95	238.50	246.99	0.99	
45 pacientas MC = 1,15	1	371.34	461.61	18.93	6.58	0.80	375.37	459.72	20.03	6.59	0.82	Vyras 70 m. 188 cm. 84 kg.
	2	401.31	457.45	13.62	6.47	0.88	404.16	455.65	12.85	6.06	0.89	
	3	401.10	459.54	17.38	7.39	0.87	396.27	461.78	16.89	6.14	0.86	
	4	386.92	468.22	19.84	6.16	0.83	396.03	465.63	15.52	5.24	0.85	
	5	371.72	466.36	20.78	7.81	0.80	361.66	469.78	12.28	4.73	0.77	
	6	370.51	467.25	15.28	5.85	0.79	366.59	468.79	12.92	5.24	0.78	

Stebėjimai atlikti:

1 – 3 stebėjimas – žmogui stovint ramiai atsimerkus;

4 – 6 stebėjimas – žmogui stovint ramiai užsimerkus.

