



Vestibulārās telerehabilitācijas atbalsts

Autori:

Aleksandrs Gorbunovs¹, Atis Kapenieks¹, Žanis Timšāns¹, Ieva Kudiņa¹, Aivars Kaupužs^{1, 2}

¹ – Rīgas Tehniskā universitāte

² – Rēzeknes Tehnoloģiju Akadēmija

Posturālā līdzsvara problēmas aktualitāte

Tehnoloģiju nemitīga attīstība un inovācijas sekmē dzīves kvalitātes uzlabošanu. Cilvēku mūža ilgums pieaug, pateicoties jaunāko tehnisko risinājumu ieviešanai medicīnas, aprūpes un rehabilitācijas pakalpojumos. Tajā pat laikā jāatzīmē, ka saskaņā ar Pasaules Bankas un Pasaules Veselības organizācijas datiem apmēram miljards cilvēku cieš no dažāda veida funkcionāliem traucējumiem, invaliditātes (World Health Organization, 2011; World Health Organization, 2017). Katru gadu šis skaitlis palielinās. Vienai daļai personu ar speciālajām vajadzībām slimības vai funkcionālie traucējumi ir iedzimti, citai – tie rodas dzīves laikā: slimību vai darbā gūto traumu dēļ. Tā, piemēram, aptuveni 3 procenti no nodarbinātajiem Eiropā gūst savainojumus darba vietā (Oortwijn et al, 2011). Vidēji vairāk nekā deviņi veselības gadi – tie ir pasaules valstu zaudējumi iedzīvotāju invalīdes un hronisku slimību dēļ (The World Bank, 2013). Valsts un pašvaldību iestādes veic pasākumus šo cilvēku atgriešanai darba tirgū un sabiedriskās aktivitātēs, uzlabotu sociālo integrāciju (Oortwijn et al., 2011).

Tajā pat laikā jāatzīmē, ka pasaules iedzīvotāji noveco. Šī parādība ietekmē veco lauzu spēju pārvietoties, rūpēties par sevi, aktīvi piedalīties ikdienas aktivitātēs. Tas nozīmē, ka arī šī sociālā grupa prasa sabiedrības uzmanību un aprūpi. Līdzsvara spēju attīstīšana kļūst svarīga, it īpaši vecāka gadagājuma cilvēkiem un personām pēc insulta (Belda-Lois et al., 2011). Sociālā rehabilitācija būtu jāuzskata par galveno sastāvdaļu vecāka gadagājuma cilvēku un personu ar speciālajām vajadzībām dzīves kvalitātes uzlabošanai.

Mūsdienu sabiedrībā ir plaši izplatītas arī bērnu un pusaudžu motorās attīstības traucējumu formas: cerebrālie kustību traucējumi, kustību koordinācijas un smalkās motorikas ierobežojumi, motorais nemiers, hiperaktivitāte, sensorie un psihomotorie ierobežojumi, stājas un citi traucējumi. Fiziskās attīstības ietekmē strauji mainās ķermeņa proporcijas. Līdz ar to pusaudža fiziskā attīstība bieži vien nav harmoniska. Ķermeņa daļas aug nevienmērīgi un tas ietekmē kustību kvalitāti. Pusaudžu kustības bieži kļūst neveiklas un nekordinētas, kas var izraisīt kautrīgumu un neveiklību saskarsmē ar apkārtējiem. Līdz ar to kustību traucējumu gadījumos rodas kompleksi sociālie ierobežojumi, kam ir kumulatīvs raksturs, jo tie kavē personības veidošanos, noved pie sociālās atstumtības un kavē komunikatīvo attīstību.

Negatīvās sociālās vides ietekme bieži izpaužas personas psihiskās attīstības ierobežojumu struktūrā. Pasaules Veselības organizācijas publiskotajā ziņojumā indivīda funkcionēšana un tās ierobežojumi tiek raksturota kā dinamiska mijiedarbība starp veselības stāvokli un vides faktoriem gan no personas, gan vides puses (World Health Organization, 2011).

Ņemot vērā to, ka daudzi fiziski traucējumi un slimības ir cieši saistītas ar centrālās nervu sistēmas funkcionalitāti, it īpaši – ar posturālu stabilitāti (Travers et al., 2013), cilvēka līdzsvara spēju novērtēšanas iekārtas var uzskatīt par vienu no instrumentiem, kas var sniegt atbalstu agrīnai iespējamo funkcionālo traucējumu diagnostikai.

Šobrīd nozarē ir pieejamas dažādas sistēmas un iekārtas, kas var pārbaudīt pacienta līdzsvara spējas. Diemžēl tās ir pārlietu dārgas to iekļaušanai visaptverošā sociālās rehabilitācijas sistēmā, līdz ar to ierobežojot to pieejamību un praktisko izmantojamību mērķgrupā.

Valsts pētījumu programmas „Inovātīvi risinājumi sociālajā telerehabilitācijā Latvijas skolās iekļaujošās izglītības kontekstā” mērķis ir veikt starpdisciplināru situācijas izpēti izglītības iestādēs, nosakot līdzsvara koordinācijas traucējumu izraisītās sekas izglītojamajiem, un izstrādāt multimediju rehabilitācijas atbalsta pasākumu kopumu.

Šajā rakstā mēs piedāvājam vienu no risinājumiem nedārgas, efektīvas, pārvietojamas posturālā līdzsvara spēju novērtēšanas un to uzlabošanas sistēmas izstrādei, kas būtu pieejama daudzām sociālajām grupām ne tikai komerciālajos medicīnas centros, bet arī valsts finansētajās medicīnas, sociālās rehabilitācijas un aprūpes iestādēs, skolās, sporta komandās, armijas bāzās un pat mājās.

Posturālā līdzsvara traucējumu cēloņi un to noteikšana

Zinātniskajos pētījumos ir konstatēts, ka galvas reiboņi ir cieši saistīti ar līdzsvara traucējumiem (Gruber et al., 2012). Viens no pirmajiem zinātniskajiem pētījumiem par reiboņu izpausmēm bērnu populācijā tika publicēts jau 1962.gadā (Harrison, 1962), bet bērnu vecumā galvas reibonis ir reti sastopams simptoms, tādēļ tas nav pietiekami plaši pētīts. Tomēr pēc zinātniskās literatūras datiem līdzsvara traucējumu izplatība bērnu populācijā ir diezgan plašās robežās no 0,7 līdz 15 procentiem. Augstākie rādītāji tika iegūti pētījumos, kuros tika izmantotas aptaujas traucējumu identificēšanai (Bower & Cotton, 1995; Riina et al., 2005, 2006). Latvijas skolēnu veselības paradumu pētījumā tika konstatēts, ka 15,5% zēnu un 18,5% meiteņu vecumā no 13 līdz 15 gadiem vismaz reizi nedēļā sūdzējās par galvas reiboņiem un aptuveni katram trešajam pusaudzim reizi nedēļā ir bijušas gavassāpes (Pudule et al., 2012). Dati tika iegūti veicot anketēšanu, tas norāda uz nepieciešamību veikt turpmāku izpēti par reiboņa tipa noteikšanu. Nepietiekama fiziskā aktivitāte var būt viens no stājas asimetrijas cēloņiem, kas savukārt var ietekmēt turpmākās posturālā līdzsvara izmaiņas.

Pētījumos, kā galvenie līdzsvara saglabāšanas komponenti tiek minēti: vestibulārais aparāts, redze un propriocepcijas sistēma (Niemensivu, et al., 2006). Ja šīs trīs sistēmas pilnvērtīgi darbojas un nav bojātas, tad persona spēj noturēt līdzsvaru un izvairīties no kritieniem.

Plašāk izmantojamie testi līdzsvara spēju noteikšanai (1.att.):

1. Romberga tests: pozīcijā stāv ar cieši savērstām pēdām, rokas izstieptas uz priekšu ar plaukstām uz leju, pirksti izplesti (Romberga poza);
2. Unterbergera tests: pozīcijā kāju pēdas novietotas vienā līnijā tā, lai vienas kājas pirkstgali pieskartos otras kājas papēdim, roku stāvoklis kā iepriekš;
3. Babinska-Veila tests: pozīcijā stāv uz vienas kājas, otras kājas papēdi uzliek uz atbalsta kājas ceļgala, rokas kā iepriekš;
4. Eirofit Flamingo tests: pozīcijā izpilda vingrošanā pieņemto līdzsvara stāju.

Unterbergera testa laikā pacientam ir jāsoļo uz vietas ar aizvērtām acīm, ja tiek novērota rotācija uz vienu pusi, iespējams labirinta darbības traucējumi atbilstošajā pusē.

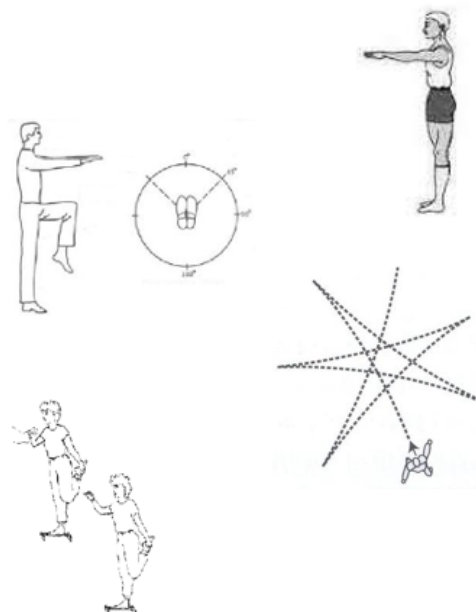
Babinska-Veila, jeb „zvaigznes” soļošanas testā pacients tiek lūgts atkārtoti veikt 5 - 10 soļus uz priekšu un atpakaļ, saglabājot acis ciet. Vestibulāro traucējumu gadījumā var novērtot, ka kustību trajektorija nav taisnvirziena, bet veido „zvaigznes” projekciju.

1. Romberga tests

2. Unterbergera tests

3. Babinska-Veila tests

4. Eirofit Flamingo tests



1.attēls. Posturālā līdzsvara novērtēšanas testi.

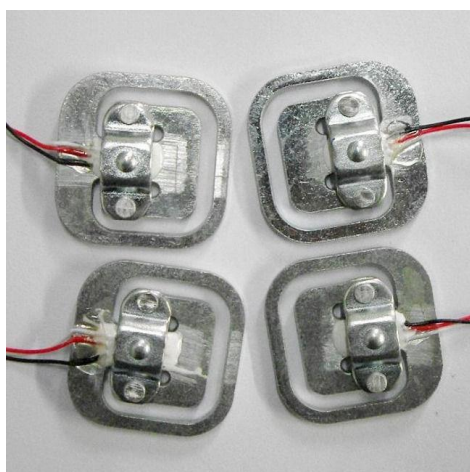
Zinātniskajā literatūrā termins „vestibulārā rehabilitācija” tiek pielietots ārstēšanās taktikai, kuras pamatā ir vingrinājumu pielietošana primāro un sekundāro simptomu mazināšanai. Vestibulārās rehabilitācijas mērķis ir stimulēt centrālās nervu sistēmas kompensatorās sistēmas izveidošanos un nodrošināt strukturētu sensoromotorās koordinācijas atjaunošanos, veicot ķermeņa pozicionēšanu un kustības. Vestibulārā rehabilitācija kā ārstnieciskā metode pirmo reizi tika pielietota jau 1946.gadā, un tā kļuva atpazīstama arī kā Cawthorne-Cooksey vingrinājumu programma, ko pielietoja pacientiem pēc galvas traumām vai vestibulārā labirinta traucējumiem.

Pacientiem bija jāveic vienkāršas atkārtotas acu, galvas un ķermeņa kustības, kas stimulētu vestibulāro sistēmu un veicinātu kompensācijas procesus (Cawthorne, 1946; Cooksey, 1946).

Jaunizstrādātais posturālā līdzsvara noteikšanas prototips

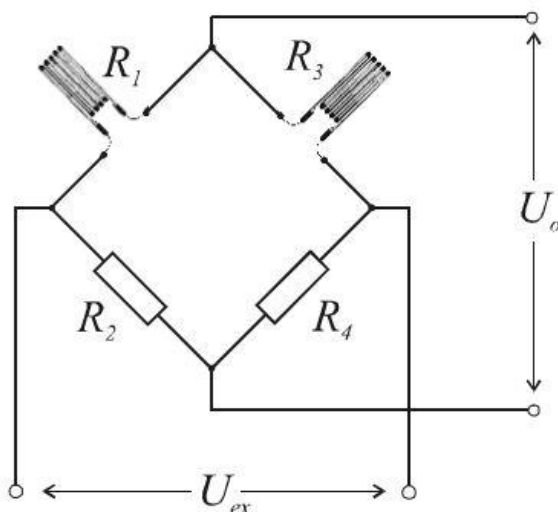
Spiediena sensori jeb tenzorezistori ir visplašāk izplatītās ierīces deformācijas mērīšanai (2.attēls). To darbības princips balstās uz elektriska vadītāja pretestības atkarību no šķērsriezuma laukuma izmaiņas mehāniskās deformācijas rezultātā. Parasti elektriskais vadītājs (metāla stieple) tiek pielīmēts ar izolējošu līmi pie deformējamā materiāla. Slogojot materiāls deformējas kopā ar līmes kārtiņu un elektrovadītāju. Deformācijas lielumu nosaka izmērot elektrovadītāja pretestības izmaiņu.

Šāds tenzorezistors pieder pie pusvadītāju grupas. Tos izgatavo no aptuveni 0.25 mm biezas tenzojutīga silīcija plāksnītes. Tā priekšrocība ir ļoti augsts jutības koeficients ($k \approx 100$). Ierīces trūkumi ir materiāla trauslums un augsta pretestības atkarība no temperatūras. Rūpnieciski ražotie metāla tenzorezistori galvenokārt tiek izgatavoti no konstantāna vai līdzīga sakausējuma stieples vai folijas. Tenzorezistoru pretestība parasti ir 120, 350 vai 1000 Ω , pieļaujamā strāva no 5 līdz 40 mA; jutības koeficienti robežās no 2 līdz 4.



2.attēls. Spiediena sensori (tenzorezistori).

Sensoru sekmīgai izejošā signāla noteikšanai tie tiek saslēgti noteiktā elektriskajā ķēdē, izmantojot pustilta slēgumu (3.att.). Pustilta slēguma rezultātā iegūtais lielums var būt gan pozitīvs, gan negatīvs skaitlis, atkarībā no sensora, uz kuru iedarbojas spēks ($\Delta R_1 = -\Delta R_3$), tad šos, nu jau divus lielumus, var atviegloti atveidot koordināšu plaknē kā x un y pozitīvo un negatīvo vērtību, tādējādi vizualizējot kustību plaknē. Tas ļauj izmantot sistēmā signālu datu pastiprinātāšanai tikai divus “SparkFun electronics” firmas ražotos HX711 pastiprinātājus (4.att.) četru vietā. Prototipā pielietotais mikrokontrolieris “Arduino Uno” ne tikai rūpējas par datu uzkrāšanu, aprēķināšanu un nosūtīšanu, bet arī pastiprina un pārveido iegūto signālu.

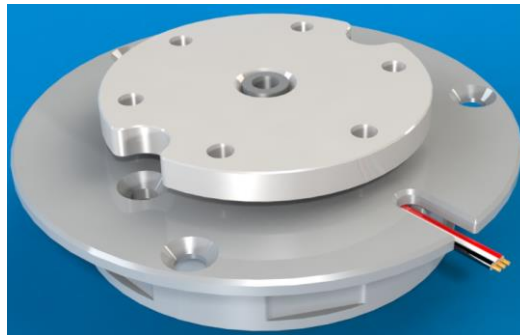


3.attēls. Pustilta slēgums.

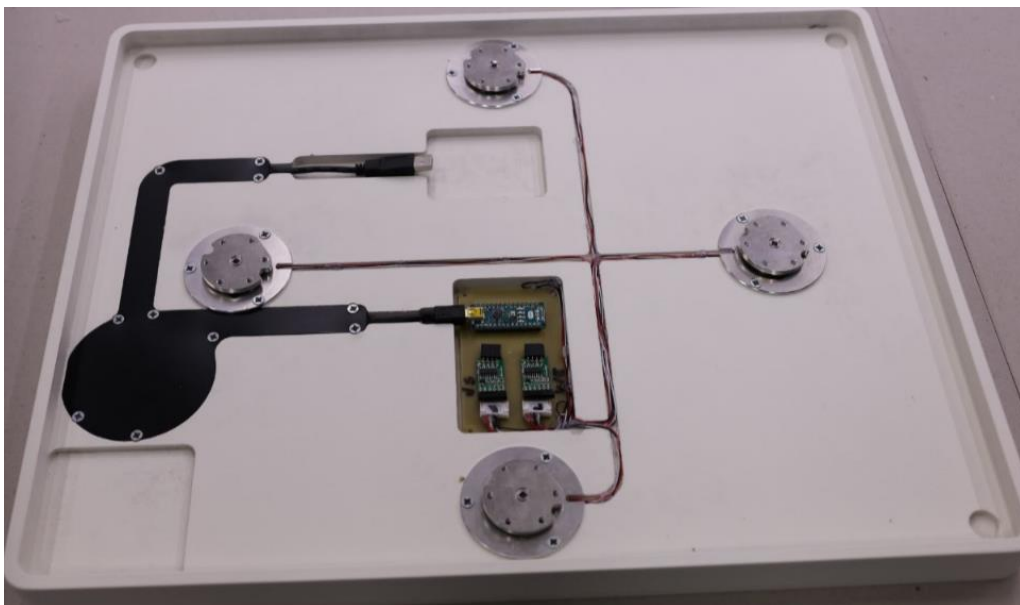
Jaunizstrādātā līdzsvara novērtēšanas prototipā (8.att.) sensori ir iebūvēti speciālos konteineros (5.att.). Sensoru izvietojums parādīts 6.attēlā. Prototipa pamatplatformas spiediena plātne aprīkota ar augstuma regulēšanu (7.att.) platformas stabilizēšanai.



4.attēls. No sensoriem iegūto datu pastiprinātāji HX711.



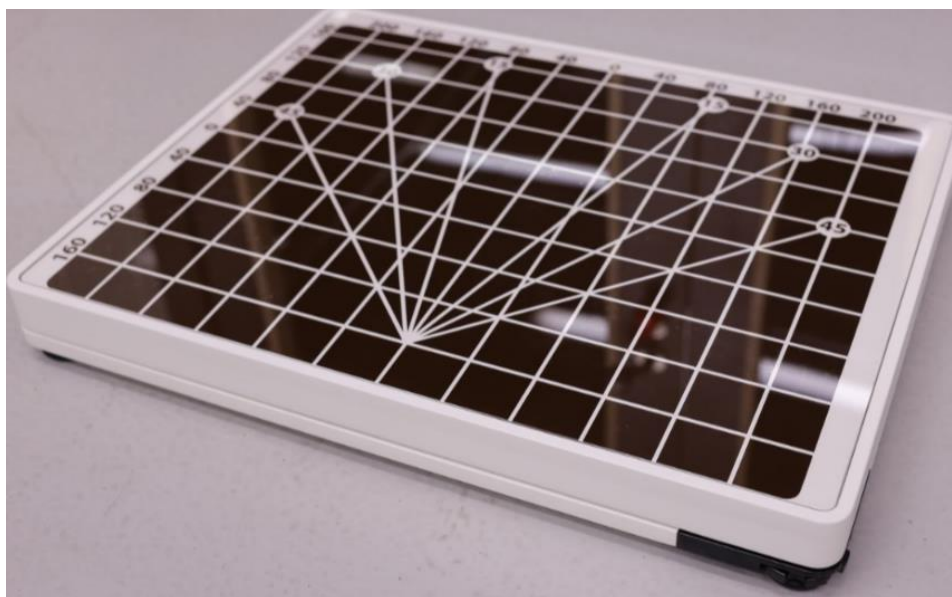
5.attēls. Kontainers ar iebūvētu tajā tenzorezistoru.



6. attēls. Sensoru izvietojums.

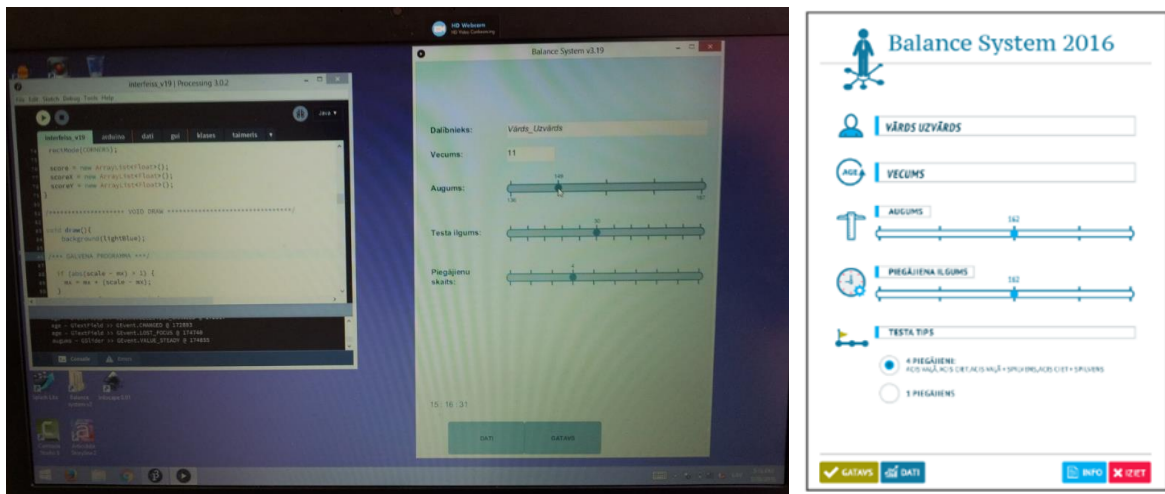


7. attēls. Augstuma regulēšana.

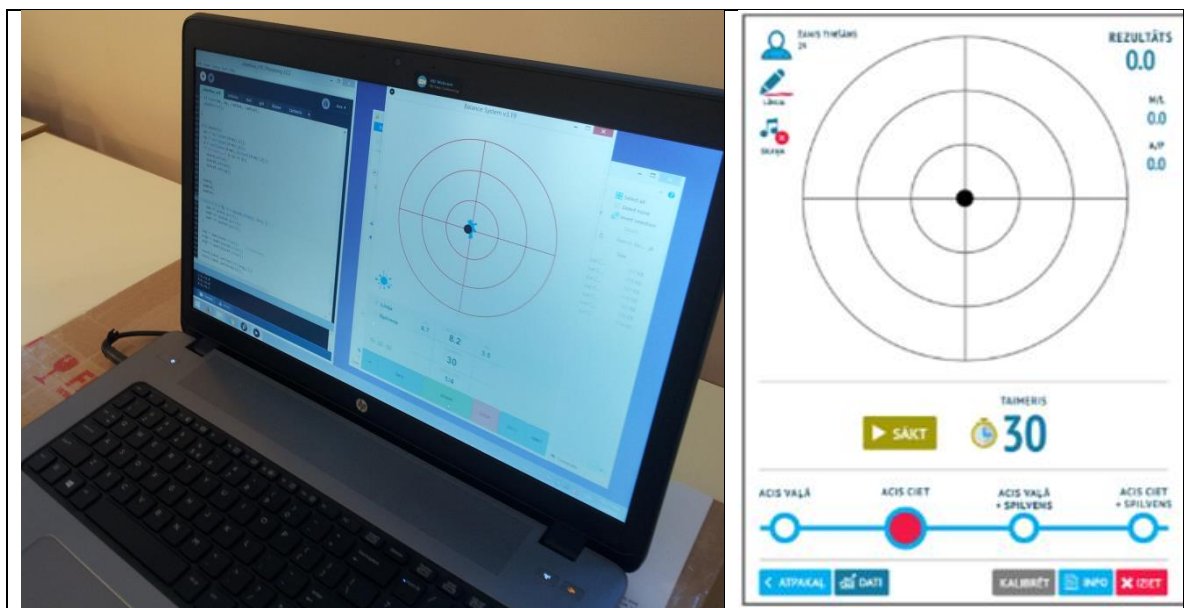


8. attēls. Prototipa spiediena pamatplātne (jaunākā versija).

Atbilstoši projekta ietvaros izstrādājamajai līdzsvara kapacitāšu noteikšanas un uzlabošanas metodikai tika pilnveidota līdzsvara funkcionālo spēju vizualizācija un iekārtas interfeiss. 9. un 10. attēlos atainotais sākotnēji izstrādātais interfeiss patlaban ieguvis lietotājam draudzīgāku un pievilcīgāku izskatu jaunākajā versijā (11 un 12. attēls), kas pieejama kā latviešu, tā arī angļu valodā. Tā izstrādē tika izmantota Processing 3.0.2. atklātā koda programmatūra.



9.attēls. Personas datu ievade (interfeisa starpversijas latv. val.).



10.attēls. Kustīgas sfēras (lodītes) atainošana.

Pirms līdzsvara noteikšanas sistēmā tiek ievadīti testējamās personas dati (11. attēls):

- Dalībnieka vārds un uzvārds (vai arī identifikācijas numurs);
- Vecums;
- Auguma parametri;
- Veicamā testa ilgums;
- Piegājienu jeb atkārtojamo mērījumu skaits (parasti tiek pielietota m-CTSIB metodika).

TESTA PROTOKOLS

levadparametri


Dalībnieks

Vecums

Augums

Piegājiena ilgums

5



Protokols

mCTSB (Četri stāvokļi)

VIENS PIEGĀJIENS

Papēža pozīcija

Kreisais Labais

Pēdas leņķis

Kreisais Labais

TĀLĀK

[nav kalibrācijas](#)

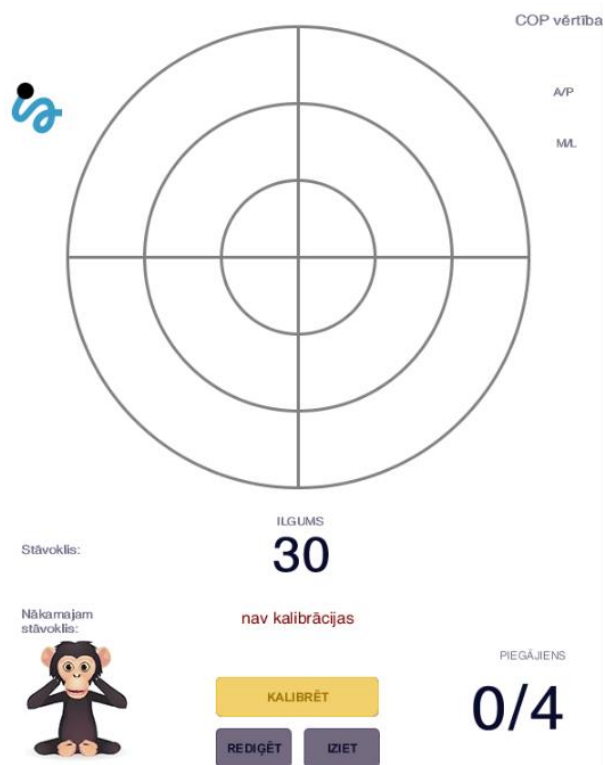
11. attēls. Datu ievadišana (interfeisa jaunākā versija).

Nemot vērā, ka projekta ietvaros ar jaunizstrādāto prototipu iegūstamie dati ir jāsalīdzina ar datiem, kas iegūti, izmantojot ASV ražotāja “Biosway” līdzsvara testēšanas iekārtu, tad testa ilgums tika noteikts - 30 sek, bet piegājienu skaits – 4 reizes, mēģinot noturēt kustīgu lodīti ekrāna centrā (10.attēls):

- 1) uz cietas virsmas ar atvērtām acīm;
- 2) uz cietas virsmas ar aizvērtām acīm;
- 3) uz mīkstas virsmas ar atvērtām acīm;
- 4) uz mīkstas virsmas ar aizvērtām acīm.

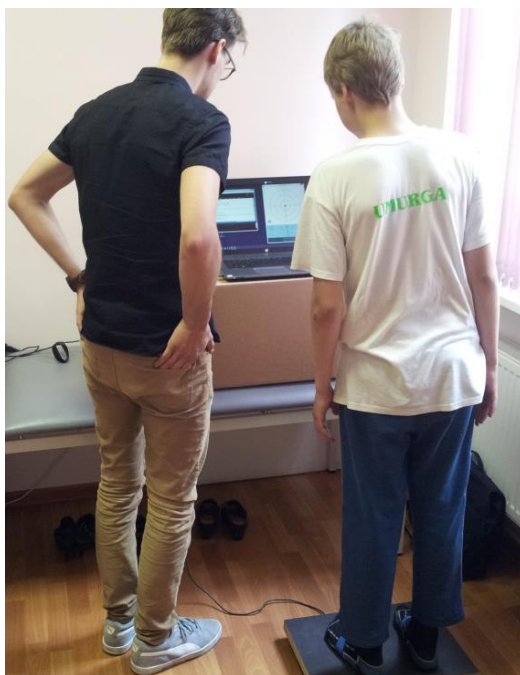
Pēc testējamās personas datu ievades var tikt uzsākta pati pārbaude (12. un 13. attēls), izpildot noteiktos 4 uzdevumus (uz cietas virsmas: acis vaļā un acis ciet, kā arī uz mīkstas virsmas: acis vaļā un acis ciet).

Iedrošinošs, bērniem draudzīgs interfeiss palīdz personai sekot izpildāmo testu norādēm un prasībām (12. attēls): interaktīvs pērtiķēna attēls sniedz padomu par sagaidāmajām no personas darbībām testa laikā dažādos m-CTSIB režīmos – par to, ka tests būs jāizpilda ar aizvērtām acīm, pērtiķēns paziņo aizklājot ar plaukstām savas acis; savukārt testa izpildi ar atvērtām acīm norāda, atverot skatienam mērķaķēna acis.



12. attēls. Līdzsvara pārbaudes interfeiss (jaunākā versija).

Līdzsvara pārbaudes interfeiss (12. attēls) sniedz iespēju gan pašai pārbaudāmajai personai, gan arī medicīnas darbiniekam sekot līdzi testu izpildes fāzēm. Līdzsvaru raksturojošās lodītes pārvietošanās trajektorijas tiek izgaismotas un paliek redzamas uz ekrāna līdz nākamās testa fāzes izpildījumam.



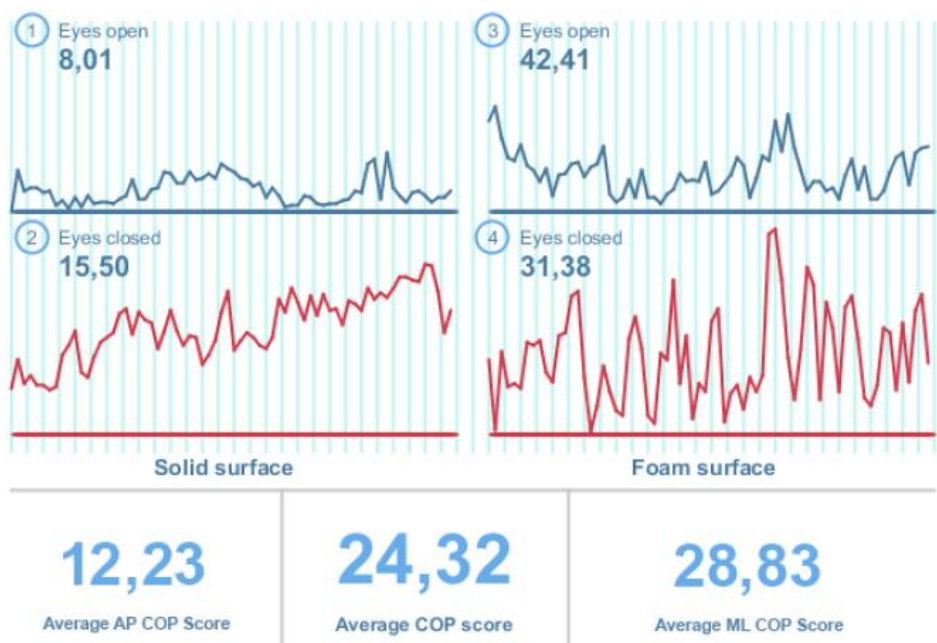
13.attēls. Prototips darbībā.

Testu izpildes dati tiek nolasīti un apstrādāti, tālāk ļaujot gūt informāciju par konstatētajām personas posturālā līdzsvara spējām kā uzskatāmā vizuālā formā, tā arī csv failu veidā. Tas sniedz iespēju tālākai testēšanas datu novērtēšanai un rekomendāciju sniegšanai testējamajai personai (vai nepilngadīgās personas vecākiem). Līdzsvara novērtēšanas testu dati jau tiek veiksmīgi vizualizēti (14. attēls) ar mērķi padarīt tos vairāk pielietojamus, aptveramus un saprotamus nekavējošai analīzei uzreiz testa izpilde vietā.

Posturālā līdzsvara testa rezultāti (14. attēls) tiek parādīti četrās stabilogrammās atbilstoši m-CTSIB testa 4 režīmiem (fāzēm): uz cietas virsmas ar atvērtām un aizvērtām acīm, un uz mīkstas virsmas ar atvērtām un aizvērtām acīm. Katru no izpildītajiem uzdevumiem (testa režīmiem) raksturo svārstību indekss. Tiek parādīts arī vidējais svārstību indekss - jo mazāks tas ir, jo labāk.

Posturālā līdzsvara testēšanu nodrošinošajam personālam tiek sniegti detalizēti testa rezultāti arī par katru izpildīto testa fāzi. Tā, 15.attēlā sniegts piemērs m-CTSIB testa 4.fāzes (acis ciet, mīksta virsma) datu vizualizācijai. Tajā tiek novērtēts personas postuālais līdzsvars: tā spējas noturēt līdzsvaru virzienā “uz priekšu - atpakaļ” (angļu val. “*anteroposterior*” jeb saīsināti – AP; 15.attēla augšējā daļā AP svārstību indeksa rādītāji atzīmēti zilā krāsā) un “pa labi - pa kreisi” no vidus (angļu val. “*mediolateral*” jeb saīsināti – ML; 15.attēla augšējā daļā ML svārstību indeksa rādītāji atzīmēti sarkanā krāsā). 15.attēla apakšējā daļa sniedz informāciju par testa izpildes gaitu (apakšējā kreisā daļa) un vidējiem svārstību indeksiem, ieskaitot AP un ML indeksus.

Katrs no izpildītajiem testa režīmiem uzrāda iespējamās līdzsvara problēmas atbilstoši testa režīma noteiktajiem ierobežojumiem kādai no orgānu grupām, kas atbild par cilvēka līdzsvaru. Līdz ar to tests sniedz iespēju novērtēt ne tikai līdzsvara problēmas kopumā, bet arī dot norādes par konkrēta cilvēka orgāna vai orgānu grupas iespējamo disfunkciju.



14. attēls. Testa m-CTSIB fāžu datu vizualizācija.



15. attēls. Testa m-CTSIB 4.fāzes (acis ciet, mīksta virsma) datu vizualizācijas piemērs.

Posturālā līdzsvara uzlabošanas iespējas

Valsts pētījumu programmas „Inovatīvi risinājumi sociālajā telerehabilitācijā Latvijas skolās iekļaujošās izglītības kontekstā” (VPP INOSOCTEREHI) 2. projekta ietvaros izstrādāts audio-vizuāls, interaktīvs materiāls un metodika līdzsvara vingrinājumu kompleksa pielietošanai proprioceptīvo sajūtu, vizuālās kontroles un vestibulārās sistēmas darbības diagnosticēšanai un attīstīšanai. Nodrošināta tā pieeja telerehabilitācijas e-platformā (<http://telerehabilitation.lv/lv/node/57>) un caur mobilo aplikāciju (operētājsistēmā Android). Lietojumprogramma pieejama lejupielādei:

https://drive.google.com/file/d/1u_-5ptb6LPWCNe1X6qhuZaHxJjdGg6Vn/view

Lietojumprogramma, instalēta mobilajā iekārtā, turpmāk nodrošina līdzsvaru attīstošo video vingrinājumu kompleksa pieejamību mobilajā telefonā bez Interneta pieslēguma.

Atzinība

Pētījumi veikti ar Valsts pētījumu programmas „Inovatīvi risinājumi sociālajā telerehabilitācijā Latvijas skolās iekļaujošās izglītības kontekstā” (VPP INOSOCTEREHI) atbalstu (Vienošanās Nr. 10-4/VPP-8-7).

Atsauces:

Belda-Lois, J.-M., Mena-del Horno, S., Bermejo-Bosch, I., Moreno, J., Pons, J., Farina, D., Iosa, M., Molinari, M., Tamburella, F., Ramos, A., Caria, A., Solis-Escalante, T., Brunner, C., and Rea, M. (2011). Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 8, issue 1, article 66.

Bower, C.M., Cotton, R.T. (1995). The spectrum of vertigo in children. *Archives of Otolaryngology*, vol. 121, issue 8, pp. 911–915.

Cawthorne, T. (1946). Vestibular injuries. *Proc R Soc Med*, vol. 39, pp. 270-273.

Cooksey, F. S. (1946). Rehabilitation in vestibular injuries. *Proceedings Of The Royal Society Of London. Series B, Biological Sciences*, vol. 39, pp. 273-278.

Gruber, M., Cohen-Kerem, R., Kaminer, M., & Shupak, A. (2012). Vertigo in Children and Adolescents: Characteristics and Outcome. *The Scientific World Journal*, 109624, <http://doi.org/10.1100/2012/109624>.

Harrison, M. S. (1962). Vertigo in childhood. *The Journal of Laryngology and Otology*, vol.76, pp. 601–616.

Niemensivu, R., Pyykkö, I., Valanne, L., Kentala, E. (2006). Value of imaging studies in vertiginous children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, vol. 70, issue 9, pp. 1639–1644.

Oortwijn, W., Nelissen, E., Adamini, S., van den Heuvel, S., Geuskens, and G., Burdorf, L. (2011). Social determinants state of the art reviews - Health of people of working age - Summary Report. *European Commission Directorate General for Health and Consumers*, Luxembourg, p. 40.

Pudule, I., Velika, B., Grīnberga, D., Gobiņa, I., & Villeruša, A. (2012). Latvijas skolēnu veselības paradumu pētījums. Slimību profilakses un kontroles centrs. Rīga.

Riina N, Ilmari P, Kentala E. (2005). Vertigo and imbalance in children: a retrospective study in a Helsinki University otorhinolaryngology clinic. *Archives of Otolaryngology*. vol.131, issue 11, pp. 996–1000.

Riina, N., Ilmari P., et al. (2006). Vertigo and balance problems in children—An epidemiologic study in Finland, *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, vol. 70, issue 2, p.259.

Travers, B. G., Powell, P. S., Klinger, L. G., Klinger, M. R. (2013). Motor Difficulties in Autism Spectrum Disorder: Linking Symptom Severity and Postural Stability. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 43, issue 7, pp. 1568–1583.

The World Bank (2013). World Report on Disability: Dataset. Pieejams: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-report-on-disability>.

World Health Organization (2011). World report on disability. Pieejams: <http://documents.worldbank.org/curated/en/665131468331271288/pdf/627830WP0World00PUBLI00BOX361491B0.pdf>.

World Health Organization (2017). Disability and rehabilitation: World report on disability. Pieejams: http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/en/.