

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE  
OPTOMETRIJAS NODAĻA

**REDZES ASUMA UZLABOŠANAS TRENĪNI**

BAKALaura DARBS

Autors: **Marina Leontjeva**

Stud. apl. 08135

Darba vadītājs: pētnieks Dr.phys. Gatis  
Ikaunieks

RĪGA 2011

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, datorsalikumā uz 33 lappusēm. Darbs satur 18 attēlus, 1 tabulu un 32 atsauces uz literatūras avotiem.

Pazemināts redzes asums ietekmē dzīves kvalitāti un, neskatoties uz to, ka ir daudzi korekcijas veidi (brilles, kontaktlēcas, refraktīvā ķirurģija), cilvēkiem allaž gribējās uzlabot redzes asumu neizmantojot nekādus korekcijas līdzekļus. Šajā darbā ir apskatītas dažādas redzes asuma uzlabošanas metodes.

Mērķis: novērtēt, cik daudz 2 mēnešu laikā var uzlabot redzes asumu ar vienkāršiem optotipiem – Landolta gredzeniem.

Metode: 13 dalībniekiem 2 mēnešu laikā regulāri tika mērīts redzes asums izmantojot FrACT programmu un katras sesijas vidējais rezultāts tika pierakstīts.

Rezultāti: 6 dalībniekiem redzes asums vidēji uzlabojas par 1,3 ETDRS tipa tabulas līnijām.

**Atslēgvārdi:** uztveres mācīšanās; smadzeņu plasticitāte; redzes asuma uzlabošana; Beitsa metode; *NeuroVision*; FrACT.

## ABSTRACT

The Bachelor Thesis is written in Latvian, contains 33 printed pages, 18 figures, 1 table and 32 references to other works.

Low visual acuity affects quality of life. Of course, glasses, contact lenses and refractive surgery can resolve this problem, but most of people with low visual acuity would like to improve vision without correction. In this study will be researched possibilities of visual acuity improvement using program for visual acuity assessment.

Purpose: research how much will change visual acuity after 2 months of training using simple optotypes – Landolt C.

Method: 13 subjects underwent 2 months long visual training – each week their visual acuity was assessed using FrACT program. Mean visual acuity of each session was recorded.

Results: 6 subjects achieved visual acuity improvement of 1.3 logMAR lines.

**Key words:** perceptual learning; brain plasticity; visual acuity improving; Baits method; *NeuroVision*; FrACT.

# SATURS

Apzīmējumu saraksts .....	1
Ievads .....	2
1. Redzes asums .....	4
1.1 Redzes asuma definīcija un logMAR sistēma .....	4
2. Primārā redzes garoza .....	6
2.1. Orientācijas selektivitāte .....	6
2.2. Vienkāršas šūnas .....	7
2.3. Sliktās šūnas .....	9
2.4. Hiperkompleksas šūnas .....	10
2.5. Primārās redzes garozas uzbūve .....	11
3. Smadzeņu plasticitāte .....	13
3.1. Uztveres mācīšanās .....	13
3.2. Uztveres mācīšanās atkarība no uzdevuma .....	14
3.3. Laboratorijas treniņu snieguma ietekme uz ikdienas dzīvi .....	16
4. Redzes asuma uzlabošanas iespējas .....	18
5. Praktiskā daļa .....	20
5.1. Pētījuma dalībnieki .....	20
5.2. Metode .....	20
Rezultāti .....	22
Secinājumi .....	29
Pateicības .....	30
Literatūras avoti .....	31

## APZĪMĒJUMU SARAKSTS

MAR – nepieciešamais palielinājums (*magnification requirement*) vai minimālais izšķiršanas leņķis (*minimum angle of resolution*)

VA – redzes asums (*visual acuity*)

V1 – primārā redzes garoza

LGĶ – laterāli genikulārais ķermenis

SE – sfēriskais ekvivalents

FrACT – datorizēta programmu redzes asuma un kontrastjutības mērīšanai (*Freiburg Visual Acuity & Contrast Test*)

S1.1, S1.2, S1.3, S1.4 – pirmās grupas pirmais, otrais, trešais un ceturtais dalībnieks

S2.1, S2.2 – otrās grupas pirmais un otrais dalībnieks

## IEVADS

Pazemināts redzes asums ierobežo ne tikai ikdienas darbības, bet arī var būt par šķērslī tādu profesiju apgūšanai, kuras pieprasa augstu redzes kvalitāti. Protams, ir līdzekļi, kas atrisina šo problēmu – brilles, kontaktlēcas, refraktīvā ķirurģija, bet gandrīz katrs cilvēks ar pazeminātu redzes asumu vēlas redzēt labāk, neizmantojot korekcijas līdzekļus. Ne bez iemesla joprojām ir populāras dažādas redzes asuma uzlabošanās metodes, piemēram, Beitsa metode, kaut arī nav klīnisku pētījumu, kuri apstiprinātu šo metožu efektivitāti.

Mūsdienās tiek piedāvātas vairākas redzes treniņa metodes. Viena no tām ir *NeuroVision*, kura ir paredzēta redzes kvalitātes uzlabošanai nelielas pakāpes miopijas vai agrīnas presbiopijas gadījumā. Pētījumi apstiprina (1), ka ar šo metodi var uzlabot redzes asumu un kontrastjutību. Ar šo treniņu palīdzību 2-3 mēnešu laikā iespējam sasniegt redzes asuma uzlabojumu 2,2 ETDRS tipa tabulas līnijas (0,22 logMAR vienības). *NeuroVision* programmu var iegādāties tikai par maksu.

Kā rāda jaunāki pētījumi, redzes asumu var uzlabot arī ar vienkāršākām metodēm - izmantojot datorprogrammu redzes asuma noteikšanai. Regulāri reizi nedēļā mērot redzes asumu ar šādu programmu, *Heinrich et al.* savā pētījumā pēc 1 mēneša sasniedza redzes asuma uzlabojumu par 1,1 ETDRS tipa tabulas līniju (0,11 logMAR vienības). Šī metode aizņem mazāk laika, kā arī šādi treniņi neprasa tik lielus finansiālus ieguldījumus kā iepriekš minētā metode.

Mana bakalaura darba **mērķis** ir novērtēt, cik daudz 2 mēnešu laikā var uzlabot redzes asumu ar vienkāršiem optotipiem – Landolta gredzeniem.

**Hipotēze:** veicot 2 mēnešu laikā redzes treniņus, izmantojot redzes asuma mērījumiem paredzētu datorprogrammu, kurā kā stimulsi tiek izmantoti Landolta gredzēni, var iegūt redzes asuma uzlabojumu.

### **Uzdevumi:**

1. Veikt regulārus redzes asuma mērījumus ar datorprogrammu 2 mēnešu ilgā laika periodā.
2. Novērtēt redzes asuma uzlabojumu pēc treniņa.
3. Pārbaudīt, vai uzlabojums pastāv mērot redzes asumu arī ar citām metodēm (izmantojot tabulu redzes asuma noteikšanai).
4. Novērtēt, kā atgriezeniskās saites stimulsi ietekmē redzes asuma uzlabojuma lielumu.
5. Salīdzināt iegūto uzlabojumu ar rezultātiem, kurus var panākt izmantojot treniņus ar sarežģītākiem stimuliem.

**Izmantotās metodes:** izmantojot FrACT programmu redzes asuma mērīšanai, dalībniekiem regulāri reizi nedēļā 2 mēnešu laikā tika mērīts redzes asums. Pēc tam datus salīdzināja ar t-testa (*t-Test: Paired Two Sample for Means*) palīdzību, lai noteiktu redzes asuma izmaiņas.

# 1. REDZES ASUMS

## 1.1 Redzes asuma definīcija un logMAR sistēma

Redzes asumu var vērtēt pēc dažādiem kritērijiem: minimāli redzamais (spēja kaut ko ieraudzīt, noteikt, vai ir stimulš); minimāli atšķiramais (spēja atšķirt stimula detaļas, piemēram, atšķirt burtu P no burta F, vai B no R utt.); hiperasums vai *Vernier* asums (spēja noteikt vienas līnijas nobīdi attiecībā pret otru). (2)

*Donders* definēja redzes asumu kā burta izmēra un skatīšanās attāluma attiecību un piedāvāja redzes asuma formulu (att. 1.1.1) Viņš noteica, ka standartā cilvēka acs spēj ieraudzīt burtu, kas ir 5 loka minūtes liels. Salīdzinot burta izmēru, kuru atpazīna pacients, ar šo standartu iegūst nepieciešamo palielinājumu (*magnification requirement* jeb MAR), kas ir vajadzīgs, lai dotu pacienta acij tādu pašu sniegumu kā standarta acij. Apgrieztais MAR lielums ir redzes asums (att. 1.1.1). (3)

Size seen by <b>patient</b> / Size seen by “ <b>standard eye</b> ” = <b>MAgnification Requirement</b>					
<b>Visual Acuity = 1 / MAgnification Requirement</b>					
MAGnification Requirement:	2x	Visual Acuity:	1/2	0.5	20/40
	4x		1/4	0.25	20/80
	10x		1/10	0.1	20/200

**1.1.1. att. Donders formula. Burta, kuru redz pacients, izmērs pret burta, kuru redz standarta acs, izmēru ir vienāds ar nepieciešamo palielinājumu (*magnification requiremen* jeb MAR *t*), bet MAR apgrieztais lielums ir redzes asums. Attēlā dažādiem MAR ir izrēķināts redzes asums decimālās vienībās un pēdās (3)**

MAR vēl var būt interpretēts kā minimālais izšķiršanas leņķis (*minimum angle of resolution*) un tā logaritmu (logMAR) izmanto kā mērvienību. Tabulas, kurās optotipu lielums mainās pēc ģeometriskās progresijas (piemēram, ETDRS tabula) ir ērtākas, jo burti rindās mainās pēc ģeometriskās progresijas, vērtības logMAR sistēmā ir vieglāk statistiski apstrādāt, tāpēc šo sistēmu biežāk izmanto pētījumos. ETDRS tipa tabulās, kurās vienā rindiņā parasti ir 5 simboli, viena simbola vērtība ir 0,02 logMAR vienības, kas ļauj precīzāk novērtēt redzes asumu, ja cilvēks redz tikai atsevišķus simbolus rindiņā. Jāatcerās, ka logMAR vienības raksturo redzes zudumu, nevis pašu redzes asumu – logMAR vērtības palielināšanās atšķirībā no decimālas sistēmas norāda uz redzes asuma samazināšanos (0

logMAR = nav zuduma = standarta normāla redze, bet decimālā sistēmā 0 VA = nav redzes = aklums). (3)

Lai pāriet no decimālas sistēmas logMAR sistēmā izmanto formulu:  $\log\text{MAR} = -\log(\text{VA})$ , kur VA ir redzes asums decimālā sistēmā. Tabulā 1.1.1 parādītas dažādas sistēmas redzes asuma izteikšanai un var salīdzināt, kādai decimālai vērtībai atbilst noteiktā vērtība logMAR vienībās.

1.1.1. tabula

**Redzes asuma mērīšanas sistēmas (pēdas, metros, decimālās vienībās un logMAR vienībās) (4)**

<i>Pēdas</i>	<i>Metri</i>	<i>Decimālas vienības</i>	<i>logMAR vienības</i>
20/200	6/60	0,10	1,00
20/160	6/48	0,125	0,90
20/125	6/38	0,16	0,80
20/100	6/30	0,20	0,70
20/80	6/24	0,25	0,60
20/63	6/19	0,32	0,50
20/50	6/15	0,40	0,40
20/40	6/12	0,50	0,30
20/32	6/9,5	0,63	0,20
20/25	6/7,5	0,80	0,10
20/20	6/6	1,00	0,00
20/16	6/4,8	1,25	-0,10
20/12,5	6/3,8	1,60	-0,20
20/10	6/3	2,00	-0,30

## 2. PRIMĀRĀ REDZES GAROZA

Smadzeņu garozā vizuāla informācija tiek apstrādāta, organizēta un integrēta ar atmiņu un citām apziņas daļām un pirmais posms informācijas apstrādei garozā ir primārā redzes garoza jeb – strīpainā garoza (vēl tiek saukta par V1 vai 17. Brodmana lauku) – vieta, kur signāls nonāk no laterāli genikulārā ķermeņa (LGĶ). (5)

Primārā redzes garoza atrodas okcipitālajā (pakauša) daivā un sastāv no vairākiem slāņiem, daži no kuriem saņem informāciju tieši no LGĶ, daži – sūta informāciju uz augstākajiem redzes apgabaliem, bet viens, tā saucamais 6. slānis sūta lielu informācijas apjomu atpakaļ uz LGĶ. (5, 6)

Runājot par V1, pirmais, kas jāmin, ir tas, ka topogrāfiskā organizācija, kura atrodama LGĶ (katram noteiktam LGĶ apgabalam atbilst noteiktais apgabals uz tīklenes), saglabājas arī primārajā redzes garozā. Tas nozīmē, ka šūnām, kas atrodas blakus viena otrai primārajā redzes garozā, ir atbilstošie receptīvie lauki LGĶ, kas arī novietoti līdzās. (6)

Katras puslodes primārā redzes garoza atspoguļo pusi no redzes lauka. Kreisais V1 atspoguļo labo redzes lauka pusi, labais V1 – kreiso, pie tam ir neliela pārklāšanās starp abām redzes lauka pusēm, bet mēs to nekad nepamanām. Redzes lauka „karte” strīpainajā garozā ir stipri saspiesta un, piemēram, tīklenes foveolas apgabalam ir atvēlēts proporcionāli vairāk vietas (centrālie 2 grādi redzes lauka patērē aptuveni 10% no viesiem redzes laukam atvēlētajiem smadzeņu resursiem). Šāds neviendabīgs sadalījums, kad liela daļa no garozas tiek atvēlēta centrālai redzei, tiek saukts par kortikālo palielinājumu (*cortical magnification*). (5, 6)

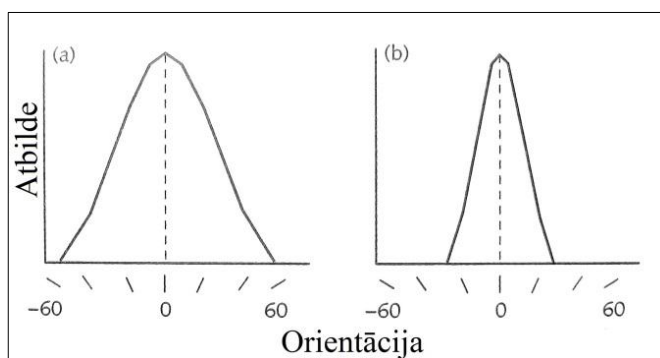
No primārās redzes garozas tālāk informācija tiek nodota pa ventrālo un dorsālo ceļu uz augstākām redzes garozas apgabaliem. (5)

### 2.1. Orientācijas selektivitāte

Savos pētījumos (1950. gados) *Hubel* un *Wiesel* atklāja, ka V1 šūnas labāk reaģē uz iegareniem stimuliem, nekā uz punktveida gaismas stimuliem. Turklāt viņi pamanīja, ka dažādi orientētas līnijas izsauc atbildi atšķirīgajās šūnās – piemēram, vienas šūnas vislabāk reaģē uz 15° slīpām līnijām, citas “dod priekšroku” horizontālām līnijām, citas – vertikālam utt. Protams, ka šūna, kura reaģē uz 15° slīpo līniju, labi reaģēs arī uz 16° slīpu līniju, bet tas, kā tā reaģēs uz 20° vai 30° slīpu līniju, ir atkarīgs no šūnas selektivitātes (*tuning*). (6)

Selektivitāte nozīmē, ka noteiktā šūna reaģēs tikai uz noteikta tipa stimulu, tāpēc, kad saka, ka primārās redzes garozas šūna ir selektīvi orientēta, tas nozīmē, ka tā ir jūtīga pret noteikta virziena stimuliem. Tas nenozīmē, ka, ja šūna ir jūtīga pret vertikāliem stimuliem, tā nereaģēs arī uz nedaudz ieslīpām līnijām, bet atbilde būs vājāka. (6)

Selektīvi orientētas šūnas atbildes reakcijas uz dažāda slīpuma līnijām ir parādīta 2.1.1.a attēlā.



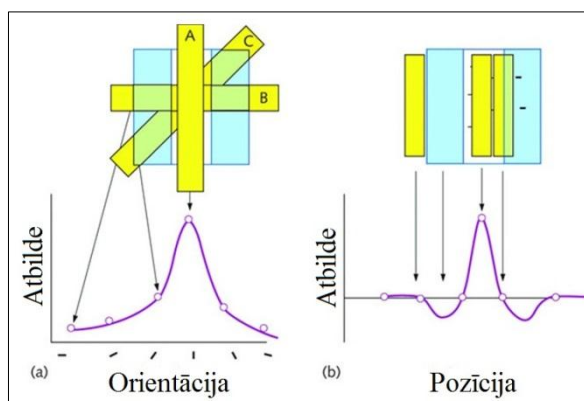
**2.1.1. att.** Selektīvi orientētas šūnas ar atšķirīgu diapazona platumu. Šūnai attēlā (a) ir plašāka selektivitāte nekā šūnai attēlā (b) (6)

Ka var redzēt, šī šūna vislabāk reaģē uz vertikālām līnijām, bet uz 60° slīpu līniju tā nedod vispār nekādu atbildi. Attēlā 2.1.1.b ir cita šūna, kas arī ir selektīva pret vertikāli vēršiem stimuliem, bet tās selektivitāte ir šaurāka un šūna pārstāj reaģēt jau uz līnijām, kas ir pagrieztas par 30° no vertikālā virziena. Attēlos radīto līkņu platumus tiek saukts par atbildes diapazona platumu (*bandwidth*) un jo tas ir lielāks, jo mazāk selektīva ir šūna. (6)

Pētot kaķa strīpainās garozas neironus, kas reaģē uz iegareniem stimuliem, *Hubel* un *Wiesel* sadalīja tos divās kategorijās: vienkāršās (*simple cells*) un saliktās šūnas (*complex cells*). Vēlāk līdzīgas šūnas tika atklātas arī pērtiķa strīpainajā garozā. (5)

## 2.2. Vienkāršās šūnas

LGĶ šūnas nevar „atšķirt” dažādi vēršus stimulus, jo tām ir koncentriski receptīvie lauki, kas vienādi reaģēs gan uz vertikālām, gan uz horizontālām, gan uz slīpām līnijām. Savukārt primārajā redzes garozā ir tādas šūnas, kuru receptīviem laukiem ir izstiepti kairinošie un kavējošie reģioni (att.2.2.1.a). Šādas šūnas tiek sauktas par vienkāršām šūnām. Lai tās reaģētu, stimulam jābūt ar noteikto platumu un pagrieztam noteiktā virzienā, kas atbilst receptīvā lauka virzienam. (6)

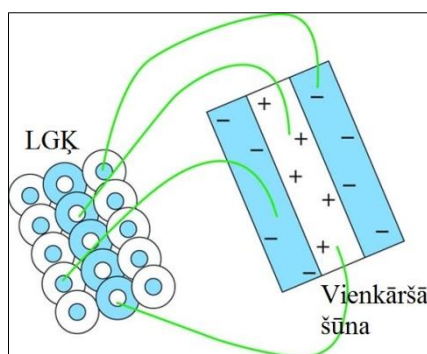


**2.2.1. att. Vienkāršās šūnas receptīvais lauks reaģē visspēcīgāk uz noteikti orientētu līniju, šajā gadījumā – uz vertikālu (a), un šūnu reakcija būs atkarīga arī no iegarenā stimula pozīcijas (b) (6)**

Vienkāršās šūnas reakcijas stiprums būs atkarīgs arī no tā, kur tieši atrodas stimul. Ja tas „trāpīs” ON reģionā, šūna reaģēs visstiprāk; ja stimul noklās gan ON, gan OFF reģionu vienādās daļās, atbildes nebūs; bet ja tas nokļūs tikai uz OFF reģiona, izsauks kavējošo atbildi (att.2.2.1.b). Tas nozīmē, ka vienkāršām šūnām piemīt fāzes jutīgums (*phase sensitivity*). (6)

Dažām vienkāršām šūnām ir tikai viens kairinošais un viens kavējošais reģions. Šādas šūnas vislabāk reaģēs uz kontrasta maiņu uz noteiktā virzienā pavērsta stimula malas un šīs šūnas *Hubel* un *Wiesel* nodevēja par malas detektoriem (*edge detector*), bet pārējas – par līniju detektoriem (*bar detector*). (6)

*Hubel* un *Wiesel* izdomāja modeli, pēc kura vienkāršo šūnu receptīvie lauki saņem ieejošus signālus no LGĶ neironiem, kuru koncentriskie receptīvie lauki ir novietoti noteiktā virziena līnijā. Attēlā 2.2.2 ir parādīts, kā var izveidot ON-centra līnijas detektoru (receptīvo lauku), kas ir jutīgs pret slīpiem stimuliem. (6)



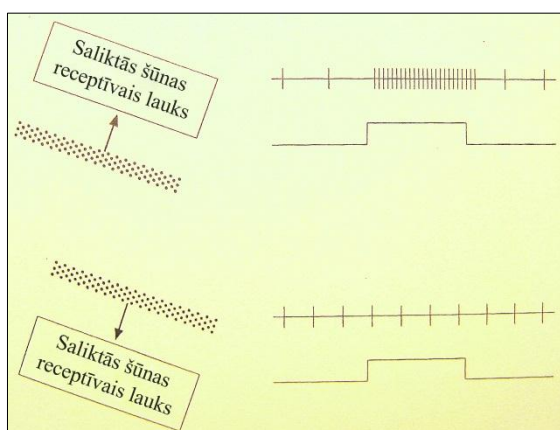
**2.2.2.att. Vienkāršās šūnas receptīvais lauks, iegūts no LGĶ izejošiem signāliem. Iegarenam līniju detektoram ir centrālais kairinošais reģions un divi sānu kavējošie reģioni un tas visstiprāk reaģēs uz pagrieztu pa kreisi līniju (6)**

Komplicētāku receptīvo lauku veidošana no vienkāršākiem sakārtotiem receptīviem laukiem tiek saukta par secīgo jeb hierarhisko apstrādi (*serial, or hierarchical, processing*). (5)

### 2.3. Saliktās šūnas

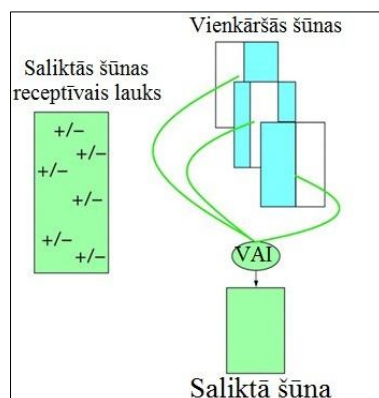
Tāpat kā vienkāršās šūnas, saliktās šūnas labāk reaģē uz iegareniem stimuliem, kuri ir novietoti noteiktā virzienā, bet šīm šūnām ir būtiskas atšķirības no iepriekš minētajām šūnām.

Pirmkārt, saliktās šūnas ir fāzes nejutīgas – tām nav svarīga stimula atrašanās vieta uz receptīvā lauka. Otrkārt, salikto šūnu reakcija ir atkarīga arī no stimula kustības virziena. Ja stimuluss kustas pretējā virzienā tam, pret kuru ir jutīga šūna, tad šūna nereaģēs, pat neskatoties uz to, ka stimuluss ir pareizi telpā orientēts (att.2.3.1). Treškārt, salikto šūnu receptīviem laukiem nav strikti atdalīto kairinošo un kavējošo reģionu (att.2.3.2). (5, 6)



2.3.1.att. Saliktā šūna maksimāli reaģē uz stimulu, kas kustas noteiktā virzienā (augšā). Ja stimuluss kustēsies pretējā virzienā, reakcijas nebūs (apakšā) (5)

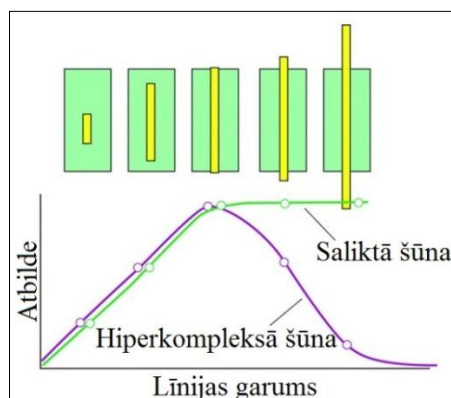
Tāpat kā signāli no LGĶ šūnām tiek apvienoti, lai veidotu vienkāršo šūnu receptīvos laukus, signāli no vienkāršām šūnām apvienojas, veidojot salikto šūnu receptīvos laukus (att.2.3.2). Vienkāršās šūnas ar vienādu selektivitāti nosūta informāciju saliktai šūnai, kuras atbildi var raksturot ar VAI darbību (*OR operation*) – saliktā šūna reaģēs, ja saņems ieejošo signālu no vienas šūnas vai no otras vai no trešās utt (att.2.3.2). (6)



2.3.2.att. Saliktās šūnas receptīvais lauks (pa kreisi). Saliktās šūnas veidošana (pa labi), apkopojot signālus no dažām vienkāršām šūnām (6)

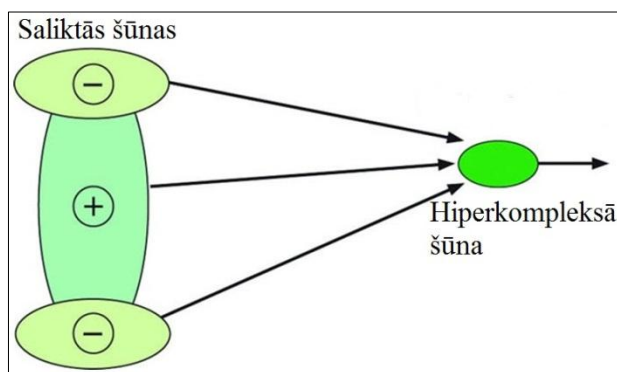
## 2.4. Hiperkompleksās šūnas

Hubel un Wiesel (1965. gadā) atklāja, ka dažu V1 neironu reakcija ir atkarīga arī no stimula garuma. Šos sarežģītus neironus nosauca par hiperkompleksām šūnām (*hypercomplex cells*). Attēlā 2.4.1 salīdzināta šādas šūnas reakcija uz dažāda garuma stimuliem ar saliktās šūnas reakciju. Saliktās šūnas atbildes spēks pieaug, palielinoties līnijas garumam, kamēr līnija kļūst tik pat gara, kā saliktās šūnas receptīvais lauks. Līnijai kļūstot garākai par receptīvo lauku, atbildes stiprums paliek nemainīgs, jo stimula daļas, kas krīt ārpus receptīvam laukam, vairs neienes ieguldījumu reakcijas stiprumā. Hiperkompleksās šūnas atbild līdzīgi līnijai pagarinoties, bet, kad stimuls kļūst lielāks par receptīvo lauku, atbilde pavājinās. Tātad optimālais stimuls šādai šūnai ir ne tikai specifiski orientēts un kustās noteiktā virzienā, bet ir arī ar noteikto garumu. (6)



2.4.1.att. Saliktās šūnas (zaļā līnija grafikā) un hiperkompleksās šūnas (violetā līnija grafikā) reakciju salīdzinājums mainoties stimula garumam. Kad stimuls kļūst garāks par šūnas receptīvo lauku, saliktās šūnas atbildes reakcija paliek nemainīgi maksimāla, bet hiperkompleksai šūnai – samazinās (6)

Hiperkompleksās šūnas saņem signālus no saliktajām šūnām, kuras ir sakārtotas tādā veidā, ka vidū atrodas saliktā šūna, kas sūta uzbudinošo signālu, bet tai abos galos – saliktās šūnas, kas sūta kavējošo signālu (att.2.4.2). Šādā veidā, kad stimulē kļūst garāks, tas nokļūst arī kavējošās saliktās šūnas un reakcijas atbilde pavājinās. (6)



**2.4.2.att. Hiperkompleksās šūnas veidošana no salikto šūnu izejošajiem signāliem. Pa kreisi ir redzama kairinošā saliktā šūna, kurai abos galos atrodas kavējošās saliktās šūnas (6)**

Kā redzams, pārejot uz augstākiem redzes sistēmas līmeņiem, ir nepieciešami sarežģītāki stimuli, lai aktivētu neironus: vāļītes reaģē uz difūzu gaismu, ganglionārās šūnas – uz noteikta diametra gaismas punktiem, vienkāršās šūnas – uz noteikti orientētām līnijām, saliktās šūnas – uz tām pašām līnijām, kas tikai kustās noteiktā virzienā un hiperkomplekso šūnu aktivēšanai šīm līnijām jābūt vēl noteiktā garumā. Redzes garozā ir arī daudz sarežģītākas (attiecībā uz to, kāds stimulē tās aktivē) šūnas – dažas reaģēs tikai tad, ja stimulē kustēsies noteiktā virzienā un/vai ar noteikto ātrumu, citām ir vajadzīgs stimulē, kas atrodas noteiktā attālumā, vai noteiktas krāsas stimulē, vai arī kombinācija no visiem minētiem faktoriem. (5, 6)

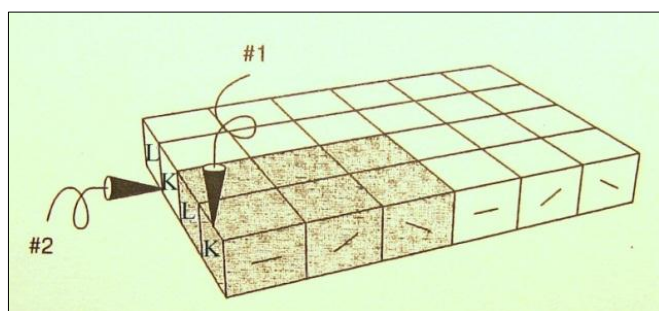
## 2.5. Primārās redzes garozas uzbūve

Kaut arī lielāka daļa redzes garozas neironi ir binokulāri – tie saņem signālus no abām acīm, daudzus no tiem “vada” viena acs. Stimulējot neironu caur šādu vadošo jeb dominanto aci<sup>1</sup> (*dominant eye*), iegūst stiprāku reakciju, nekā stimulējot neironu caur otro aci. Šādi neironi primārajā redzes garozā ir sakārtoti secīgās labās un kreisās okulārās dominances plāksnītēs, kuras vēl tiek sauktas par dominances kolonnām (*dominance columns*) (att.2.5.1). Tās iet cauri garozas audiem perpendikulāri garozas virsmai. Elektrods, kuru ievieto tā, lai tas

<sup>1</sup> Šeit termins “vadošā acs” netiek lietots sakarā ar aci, ar kuru pacients izvēlas skatīties.

penetrētu redzes garozu perpendikulāri tās virsmai (pirmais elektrods attēlā 2.5.1), savā ceļā satiks neironus, kuriem dominanta būs viena un tā pati acs. (5)

Primāras redzes garozas neironi ir sakārtoti ne tikai dominances kolonnās, bet arī orientācijas kolonnās. Elektrods, kas penetrē redzes garozu perpendikulāri tās virsmai (pirmais elektrods attēlā 2.5.1), satiks neironus, kuri ir selektīvi pret vienu un to pašu stimula orientāciju, bet ja elektrods būs ievietots paralēli garozas virsmai (otrais elektrods attēlā 2.5.1), neironiem tā ceļā sistemātiski mainīsies orientācijas selektivitāte (att.2.5.1). Okulārās dominances kolonnu (abas acis) un orientācijas kolonnu (visi virzieni) komplekts veido vienu hiperkolonnu (*hypercolumn*) (att.2.5.1). (5)



**2.5.1.att. Primārās redzes garozas neironi sakārtoti okulārās dominances (K – kreisās acs un L – labās acs) un orientācijas kolonnās. Visiem neironiem, kas būs ceļā elektrodam 1, kurš penetrē garozu perpendikulāri tās virsmai, būs vienāda okulārā dominance un orientācijas selektivitāte. Elektrods 2, kas penetrē redzes garozu paralēli tās virsmai, satiks neironus, kuriem, virzoties elektrodam uz priekšu, sistemātiski mainīsies orientācijas selektivitāte. Iekrāsots pelēkā krāsā apgabals attēlo vienu hiperkolonnu, kas sastāv no abu acu pilnā (visu virzienu) orientācijas kolonnu komplekta (5)**

Katras hiperkolonnas aptuvenais izmērs ir 1x1 mm. Viena hiperkolonna apstrādā noteiktas redzes lauka daļas vizuālo informāciju, nākamā hiperkolonna – nākamās redzes lauka daļas informāciju utt. Bet, atceroties par kortikālo palielinājumu, saprotams, ka hiperkolonnas apstrādā dažāda lieluma redzes lauka daļas. Piemēram, lai apstrādāt informāciju, kas nāk no foveas, ir vajadzīgas daudzas hiperkolonnas, tāpēc katra no tām apstrādā ļoti mazu redzes lauka daļiņu, bet perifērai tīklenes daļai ir atvēlētas tikai dažas hiperkolonnas, tāpēc tās saņem vizuālo informāciju no lielākām redzes lauka daļām. (5, 6)

### 3. SMADZEŅU PLASTICITĀTE

Redzes sistēmas plasticitāte (*visual plasticity*) ir sistēmas spēja mainīt atbildes reakciju, lai adaptētos ieejošā signāla izmaiņām. Adaptācija ir plaši pazīstams redzes sistēmas fenomens un, lai tā izveidotos, ir nepieciešams dažāds laika periods atkarībā no tā, kādas izmaiņas ir iesaistītas: darbības atkarīgā kortikālās kartes uzlabošana (nedēļas), uztveres mācīšanās (stundas un dienas) vai kontrasta adaptācija (sekundes). Šī adaptācijas mehānisma funkcionālā loma ir nodrošināt funkciju pielāgošanos jaunajiem ārējiem apstākļiem. (7)

Plasticitātei raksturīgās izmaiņas notiek caur esošo sinaptisko saišu izmaiņām vai jaunu sinapšu veidošanos, kā rezultātā tiek uzlabotas vai iegūtas jaunas iemaņas. (8) Agrāk tika uzskatīts, ka smadzenes (izņemot apgabalus, saistītus ar atmiņas veidošanos) pēc bērnības perioda zaudē savu plasticitāti, bet jaunākie pētījumi apstrīd šo uzskatu. Pētījumi par ambliopijas ārstēšanu pieaugušiem, izmantojot uztveres mācīšanos ir paradījuši, ka zināma plasticitāte saglabājas arī pēc kritiskā bērnības perioda. (7, 9 – 15)

#### 3.1. Uztveres mācīšanās

Uztveres mācīšanās (*perceptual learning*) ir treniņa rezultātā iegūts ilgstošs uzlabojums uztveres (redzes, dzirdes, garšas, ožas un taustes) uzdevumu izpildē. Šī mācīšanās atšķirās no pārējām mācīšanās formām. Tā ir ļoti specifiska (tas nozīmē, ka uzlabojums viena uzdevuma izpildē tikai mazā mērā tiek pārnesta pat uz ļoti līdzīgiem uzdevumiem) un vismaz daļēji saistīta ar strukturālām un/vai funkcionālām izmaiņām primārajā sensorā garozā. (8) Šāda veida mācīšanos caur jaunu pieredzi pamanīja *William James* jau 1890. gadā viņa degustatoriem (garšas izšķiršanā) un fabrikas strādniekiem (taustes izšķiršanā). (16) Uztveres mācīšanās ietver dažādus vizuālos uzdevumus, piemēram, stereoattēlu pamanīšanu, hiperasumu, kustības uztveršanu, tekstūras diskrimināciju utt. (7)

Ka jau bija minēts iepriekšējā nodaļā, stimuli redzes garozā tiek apstrādāti hierarhiski – zemāko apgabalu neironi reaģē uz vienkāršākiem stimuliem, augstāko apgabalu neironu aktivācijai ir nepieciešami sarežģītāki stimuli. Augstākajos apgabalos neironi ir selektīvi pret sarežģītākiem un abstraktiem stimuliem, toties zemākiem apgabaliem (primārai redzes garozai) piemīt smalkāka izšķirtspēja. (16)

Uztveres mācīšanās notiek saskaņā ar apgrieztās hierarhijas teoriju – mācīšanās sākas augstākajos apgabalos un turpinās zemākajos. Vienkāršākie uzdevumi tiek apgūti augstākos līmeņos, bet tikko ir nepieciešama smalkāka izšķirtspēja, ir vajadzīgi zemāko līmeņu neironi,

kuri sākotnēji nav pieejami. Lai iegūt pieeju, sākas iekšējā meklēšana no augstākajiem līdz zemākajiem līmeņiem, līdz tiek atrasti neironi, kas spēj atrisināt šo sarežģīto uzdevumu. (16, 17)

Mācīšanās, domājams, tiek panākta caur primārās redzes garozas neironu selektivitātes izmaiņām, to pārdali (kad noteiktas selektivitātes neironu skaits palielinās) un signāla-trokšņa attiecības palielināšanu. (7, 18, 1, 19) Signāla-trokšņa attiecība tiek izmantota, kā neironu un sinapšu signālu pārraides un uztveres precizitātes mērs. (20) Smadzenes apvieno daudzu neironu atbildes un iegūst vidējo, lai mazinātu atsevišķo šūnu radītos trokšņus. Tas arī rada signāla-trokšņa attiecību, kas nosaka uztveršanu un ierobežo kontrastjutību. Šīs attiecības palielināšana izraisa būtisku redzes kvalitātes uzlabošanu. (1)

Uztveres mācīšanos uzskata par ilgstošu uzlabojumu, kas īpaši svarīgs ir uztveres mācīšanās izmantošanai ambliopijas pakāpes mazināšanai. *Levi et al.* pētījumā par hiperasuma uzlabošanu pieaugušiem ambliopiem viens dalībnieks tika atkārtoti pārbaudīts pēc 10 mēnešu gara laika perioda kopš treniņu beigām. Viņa rezultāti pēc ilgā pārtraukuma nebija tikpat labi, kā treniņa beigās, bet tomēr labāki, nekā pirms treniņa uzsākšanas – 40% no uzlabojuma bija saglabāti. (21)

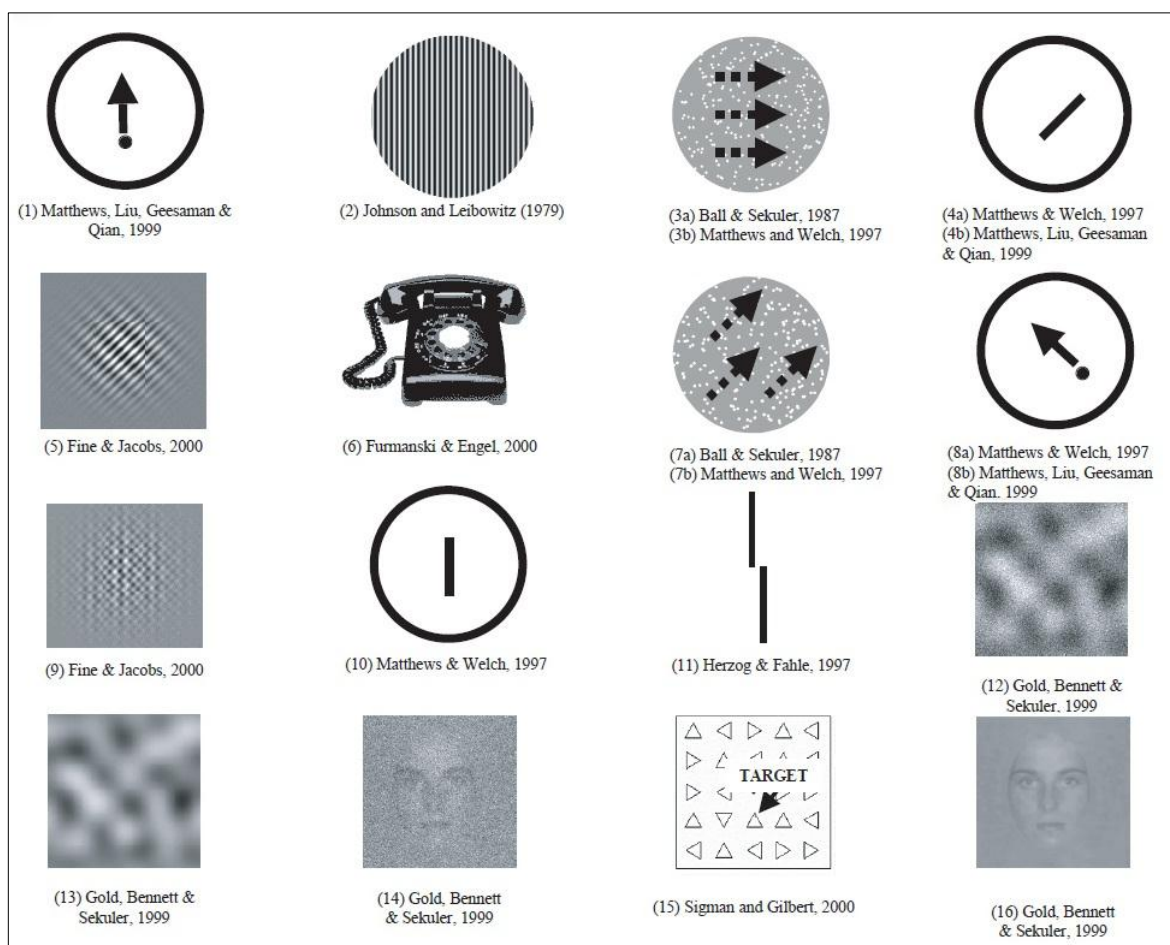
Tiek uzskatīts, ka uztveres mācīšanās ir arī stimulu specifiska un netiek pārnesta (*transfer*) starp atšķirīgiem stimuliem, starp atšķirīgu stimulu atrašanās vietu redzes laukā vai starp abām acīm. (7) Tas nozīmē, ja, piemēram, dalībnieks izpildīja uzdevumus ar vertikāliem stimuliem un ieguva uzlabojumu, šis uzlabojums neattieksies uz uzdevumiem ar slīpiem stimuliem. Tomēr dažos pētījumos, piemēram, par hiperasuma uzlabošanu pieaugušiem ambliopiem (21), tika konstatēts, ka dažiem dalībniekiem ir uzlabojuma pārnese uz netrenētiem stimula virzieniem, kā arī uzlabojuma pārnese uz netrenēto aci. Pēc pētījuma autoru domām, intraokulārā pārnese var būt par vēl vienu pierādījumu, ka mācīšanās notiek primārajā redzes garozā (vai virs tās), kur parādās binokulārā saistība. *Ahissar* pētījumā arī tika pamanīts, ka vairumam dalībnieku nenotiek uzlabojuma pārnese uz jauniem stimuliem, toties dažiem dalībniekiem, kas bija trenēti tādos pašos nosacījumos, šī pārnese parādās. Tātad uztveres mācīšanās efekti var būt individuāli un atšķirties dažādiem dalībniekiem. Turklāt *Ahissar* secināja, ka pārnese ir atkarīga arī no uzdevumu grūtības – jo sarežģītāki ir uzdevuma noteikumi, jo lielāka ir uzlabojuma pārnese uz jauniem stimuliem. (16)

### **3.2. Uztveres mācīšanās atkarībā no uzdevuma**

*Fine&Jacobs* savā pētījumā salīdzināja, kā uzdevuma sarežģītība ietekmē uztveres mācīšanās lielumu. Bija izvēlēti 16 uzdevumi ar dažādiem stimuliem, kuriem bija pēc iespējas

līdzīgāki nosacījumi. Kopumā tika veiktas vismaz 4 sesijas, kuras ilga vismaz 30 minūtes. Dalībnieki nebija iepriekš trenēti. Rezultātā dažos uzdevumos nebija uzlabojuma vai arī tas bija ļoti mazs, dažos uzdevumos uzlabojums bija ievērojams.

Attēlā 3.2.1 ir parādīti stimuli, kuri tika izmantoti dažādos uzdevumos. No piedāvātajiem 16 uzdevumiem 11 tika klasificēti kā zema līmeņa uzdevumi: izšķirtspējas sliksnis (stimuls 2), viena punkta kustības virziena izšķiršana (stimuli 1 un 8), daudzu punktu kustības virziena izšķiršana (stimuli 3 un 7), orientācijas izšķiršana (stimuli 4 un 10) un Vernjē asuma izšķiršana (stimuls 11). (18)



**3.2.1. att. Stimuli, kuri tika izmantoti dažādos redzes uztveres treniņos. Zema līmeņa uzdevumos izmantoja stimulus Nr 1, 2, 3, 4, 7, 8, 10 un 11. Sarežģītās uzdevumos izmantoja stimulus Nr 5, 9, 12, 13, 15. Augsta līmeņa uzdevumos izmantoja stimulus Nr 6, 14 un 16, kā arī stimulus Nr 9, 12, 13, 14 un 16 tika „uzlikts” troksnis (18)**

Zema līmeņa uzdevumos uzlabojums pēc ceturtās sesijas nebija vai tas bija ļoti mazs, kaut arī citos pētījumos līdzīgiem zema līmeņa uzdevumiem tika iegūts ievērojams uzlabojums jau pēc otras sesijas. (18)

Augsta līmeņa uzdevumos par stimuliem izvēlējas pazīstamus objektus (stimuls 6 attēlā 2.2.1) un nepazīstamas sejas (stimuli 14 un 16 attēlā 2.2.1). Atsevišķi izdalīja sarežģītākus uzdevumus, kuros stimuliem bija vairāk kā viena telpiskā frekvence, vairāki orientācijas virzieni (stimuli 5, 9, 12 un 13 attēlā 3.2.1), vai dažādas formas (stimuls 15 attēlā 3.2.1), kā arī uzdevumus, kuros stimuliem tika „uzlikts” troksnis – papildus tekstūra, kura traucēja stimula uztveršanu (stimuli 9, 12, 13, 14 un 16 attēlā 3.2.1). Visiem šiem uzdevumiem uzlabojums bija daudz ievērojamāks. Tas, ka uzdevumi ar ārējiem trokšņiem dod lielāku uzlabojumu, var būt skaidrots ar to, ka mainoties neironu selektivitātei un savstarpējai saistībai, ārējie trokšņi tiek izslēgti (samazinot to neironu skaitu, kuru reakcija ir atkarīga no trokšņa vai kuru selektivitāte neatbilst stimulam). Arī iekšējie trokšņi tiek samazināti, izslēdzot neironus ar zemu signāla-trokšņa attiecību. (18)

Uzlabojums uzdevumos, kur bija jāidentificē pazīstamus objektus, bija mazāks nekā tajos, kur bija jāidentificē nepazīstamās sejas. Iespējams, ka dalībnieku iepriekšējā pieredze ierobežo tālāko uzlabojumu – viņiem jau ir mehānismi, kas optimāli pielāgoti pazīstamu objektu identificēšanai. (18)

Saskaņā ar tendenci, ka sarežģītāki uzdevumi uzrāda lielāku mācīšanos, var secināt, ka neironu selektivitāte augstākos redzes sistēmas apgabalos ir ļoti atkarīga no pieredzes. Pieredzes atkarīgā plasticitāte var palīdzēt izlīdzināt balansu starp nepieciešamību pēc ļoti specifiskiem neironiem un bioloģisku neironu, kas var būt veltīti vizuālai apstrādei, daudzuma ierobežojumu. Īpaši augstākos redzes sistēmas apgabalos neironu selektivitāte ir pieredzes veidota – neironi pārsvarā reprezentē stimulus, kas ir bieži sastopami vai bija svarīgi pagātnē. Iepriekšēja pieredze dod labas prognozes nākotnes pieredzei un pielāgošanās spēja ļauj neironiem selektīvi reprezentēt ekoloģiski svarīgu stimulu kopu nevis katru iespējamu stimulu. (18)

### **3.3. Laboratorijas treniņos sasniegto redzes uzlabojumu ietekme uz ikdienas dzīvi**

Ir svarīgi, vai uztveres mācīšanās rezultātā iegūtais uzlabojums darbojas ne tikai laboratorijas apstākļos, bet arī reālā dzīvē citādākos apstākļos, vai arī treniņa efektivitāte parādās tikai pie noteiktiem nosacījumiem. 20. gst 40. gados *Eleanor J. Gibson* apgalvoja, ka treniņi, kas veikti laboratorijā, neuzlabo pilotu iemaņas sarežģītos redzes apstākļos. Komplicētu iemaņu uzlabošanai ir nepieciešams treniņš sarežģītu simulāciju apstākļos nevis tikai kādas noteiktas komponentes trenēšana. Patiešām, treniņi ar sarežģītu darbību

datorspēlēm (*complex action computer games*) parādīja, ka šāds treniņš vispārīgi pārveido redzes iemaņas. Svarīga īpašība ir efektīvā redzes lauka (tā redzes lauka daļa, kurā vēl ir iespējams identificēt objektus) funkcionāls palielinājums, kas tiek sasniegts darbības spēlēs un tiek pārņemts uz jauniem stimulu nosacījumiem. (22)

Kā parāda pētījumi, daudzas redzes prasmes var būt izmainītas videospēļu spēlētājiem, piemēram, roku-acu koordinācijas uzlabojums, informācijas apstrādes uzlabojums perifērijā, labākas uzmanības sadales<sup>2</sup> spējas, ātrāka reakcija un daudzas citas. (22, 23)

---

<sup>2</sup> Uzmanības sadale ir spēja vienlaicīgi izpildīt vairākus uzdevumus.

#### 4. REDZES ASUMA UZLABOŠANAS IESPĒJAS

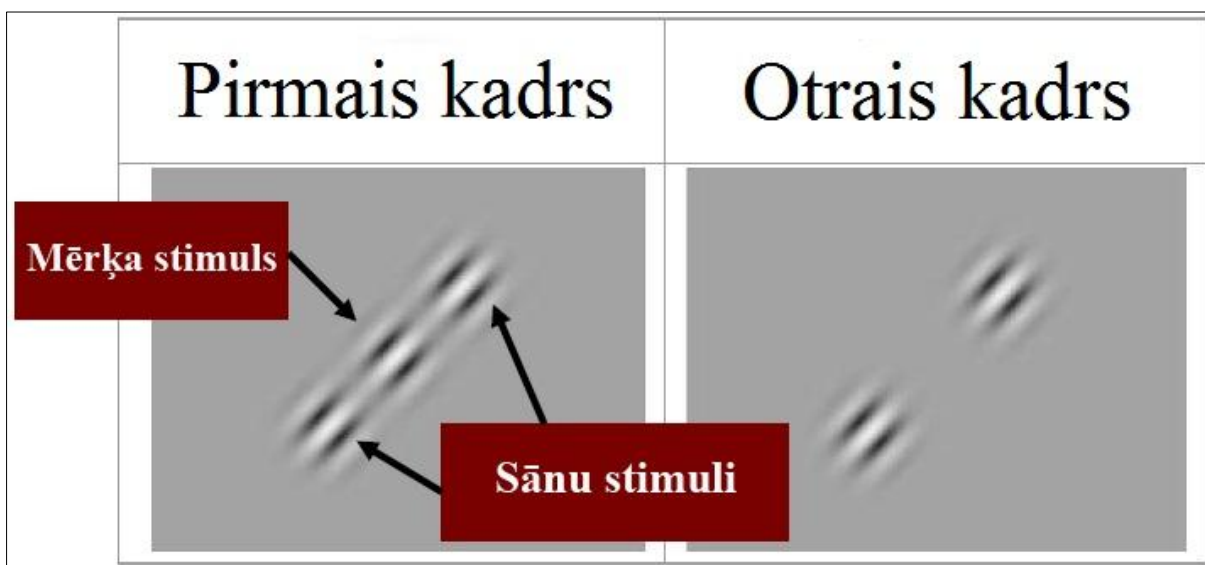
Redzes asuma uzlabošanās metodes tika piedāvātas jau ap simts gadiem atpakaļ un ir joprojām populāras, piemēram, slavenā Beitsa metode (*Bates method*), kura ietver dažādus acs muskuļu vingrinājumus, acs masāžu un psiholoģiskās atslābināšanas vingrinājumus. Kaut arī teorija par to, ka acs āboli ar kustības muskuļu palīdzību maina formu, lai nodrošinātu attēla fokusēšanos, kas ir šīs metodes pamatā, tika apgāzta, metode tiek izmantota arī mūsdienās. Pētījumos netika atrasti pierādījumi, ka šādas metodes varētu objektīvi uzlabot redzi, lai gan dažu pētījumu rezultāti uzrādīja izmaiņas (gan pozitīvas, gan negatīvas) tuvredzīgo dalībnieku redzes asumā, kas tika mērīts ar Snellena tabulu. Tomēr šo uzlabojumu neuzskata par faktisko tuvredzības izmaiņu, bet attiecina uz tādiem faktoriem, kā izplūduša attēla interpretācijas uzlabojums, garastāvokļa vai motivācijas izmaiņas, mākslīgas kontaktlēcas izveidošana no asaru plēvītes vai zīlītes miozes rezultātā radies *pinhole* efekts. Tāpēc šo vingrinājumu izmantošana paliek apšaubāma. (24, 25, 26)

Mūsdienās redzes uzlabošanās metodes pārsvarā ir balstītas uz uztveres mācīšanos un tiek izmantotas bērniem un pieaugušiem ambliopijas gadījumā. Pētījumi rada, ka šādas metodes uzlabo stereoredzi (27), hiperasumu (21), redzes asumu un kontrastjūtību (28), arī gadījumos, kad tradicionāla oklūziju ārstēšana nebija efektīva (29).

Viena no jaunākām redzes asuma kvalitātes uzlabošanas metodēm nelielas pakāpes miopijas vai agrīnas presbiopijas gadījumā ir *NeuroVision*. Pētījumi apstiprina, ka ar šo metodi var uzlabot redzes asumu un kontrastjūtību. Tās pamatā ir datorizēta programma, kurā kā stimuli tiek izmantoti Gabora režģi (dažāda izmēra, orientācijas, izvietojuma, kontrasta, ar dažādām telpiskām frekvencēm). Metode ir balstīta uz smadzeņu plasticitātes uzlabošanu, uztveres mācīšanos un laterālo maskēšanu (stimula uztveres izmaiņām sānu stimulu klātbūtnē). Dalībniekiem 20-30 min laikā bija jāizpilda daži uzdevumi tumšā telpā ~1,50 metru attālumā no monitora. Vienā no tipiskiem uzdevumiem dalībniekam tiek radīti divi viens aiz otra sekojoši kadri, kuri satur Gabora režģus. Starp abiem kadriem ir neliela atšķirība (piemēram, Gabora režģu skaita atšķirības) un dalībniekiem atbilstoši uzdevuma nosacījumiem jāizvēlas pareizais kadrs (att.4.1). Turklāt šī programma pielāgojas dalībnieku redzes asumam – pēc katras sesijas rezultāti tiek saglabāti un pārsūtīti caur internetu uz *NeuroVision* serveri Singapūrā, kur ar speciālu algoritmu tiek analizēts dalībnieka sniegums un tiek izstrādāti jauni uzdevumu parametri nākošai sesijai. Šādā veidā dalībnieks saņem treniņu, kas ir individuāli pielāgots tieši viņam. (1, 19)

*Durrie & McMinn* pētījumā 2-3 mēnešu laikā katrs dalībnieks izpildīja 30 sesijas (2-3 sesijas nedēļā). Rezultātā pēc 2-3 mēnešiem tika sasniegts uzlabojums redzes asumā – 2,2

ETDRS tipa tabulas līnijas (0,22 logMAR vienības) – gan dalībniekiem ar zemas pakāpes miopiju, gan dalībniekiem ar agrīno presbiopiju. Tika novērota arī kontrastjutības uzlabošanās pie visām telpiskajām frekvencēm. Refrakcijas izmaiņas pētījuma beigās nebija būtiskās. Uzlabojums saglabājās arī pēc 12 mēnešiem pēc treniņa beigām. (1)



**4.1.att.** Viens no *NeuroVision* uzdevumu piemēriem, kur dalībniekam jāizvēlas, kurā no kadriem tiek radīti trīs Gabora režģi (19)

Kā rāda jaunāki pētījumi, redzes asumu var uzlabot arī ar vienkāršākām metodēm. *Heinrich et al.* savā pētījumā redzes treniņiem izmantoja datorprogrammu redzes asuma noteikšanai. Programmā tika izmantota trepjveida psihofizikālā metode un kā stimul tika rādīts Landolta optotips (8 virzieni). 27 dalībniekiem ar datorprogrammas palīdzību tika regulāri noteikts redzes asums (1 sesija reizi nedēļā, 14 mērījumi vienā sesijā). Attālums līdz monitoram bija 4,2 metri. Dalībnieki bija sadalīti divās grupās: 13 dalībniekiem mērījumi tika veikti, izmantojot atgriezeniskās saites stimulu (turpmāk tekstā tiek saukts par *feedback*) – pēc katras sniegtās atbildes liels astoņstūris parādīja pareizo Landolta gredzena virzienu un skaņas signāls norādīja uz nepareizu atbildi, bet 14 dalībniekiem mērījumos *feedback* neizmantoja. Rezultātā, salīdzinot pirmo un ceturto sesiju, grupai ar *feedback* stimulu redzes asums uzlabojas par 1,1 ETDRS tipa tabulas līniju (0,11 logMAR vienības), kā arī tika novērots „lēciens” starp pirmo un otro sesiju. Grupai bez *feedback* uzlabojums bija par 0,55 ETDRS tipa tabulas līnijām (0,055 logMAR vienības). (30) Iespējams, ka turpinot redzes asuma mērījumus ar šo metodi ilgāka laika posmā, var panākt tikpat labus rezultātus, kā ar *NeuroVision* metodi, kurā tiek izmantoti daudz sarežģītāki stimuli.

## 5. PRAKTISKĀ DAĻA

### 5.1. Pētījuma dalībnieki

Darbā piedalījās 13 dalībnieki, kuri bija sadalīti divās grupās:

- Pirmajā grupā bija 6 cilvēki – 1 emetrops, 4 zemas pakāpes miopi un 1 augstas pakāpes miops. Dalībnieku vidējais vecums ir  $22,67 \pm 4,59$  gadi, vidējais SE=  $-2,05 \pm 3,67$  D. Viens no dalībniekiem pastāvīgi lietoja medikamentus. Pieci dalībnieki vai nu nelieto brilles vispār, vai lieto tikai tālumam, bet dalībnieks ar augstu miopijas pakāpi lieto pastāvīgu korekciju. Šai grupai tika lietota redzes pārbaudes programma bez *feedback*. Visi mērījumi tika veikti bez korekcijas.
- Otrā grupa bija 7 cilvēki – 2 emetropi, 5 zemas pakāpes miopi. Dalībnieku vidējais vecums ir  $20,57 \pm 0,79$  gadi, vidējais SE=  $-0,51 \pm 0,43$  D. Šai grupai tika lietota redzes pārbaudes programma ar *feedback*. Viens dalībnieks veica treniņu kontaktlēcās, visiem pārējiem dalībniekiem mērījumi tika veikti bez korekcijas.

### 5.2. Metode

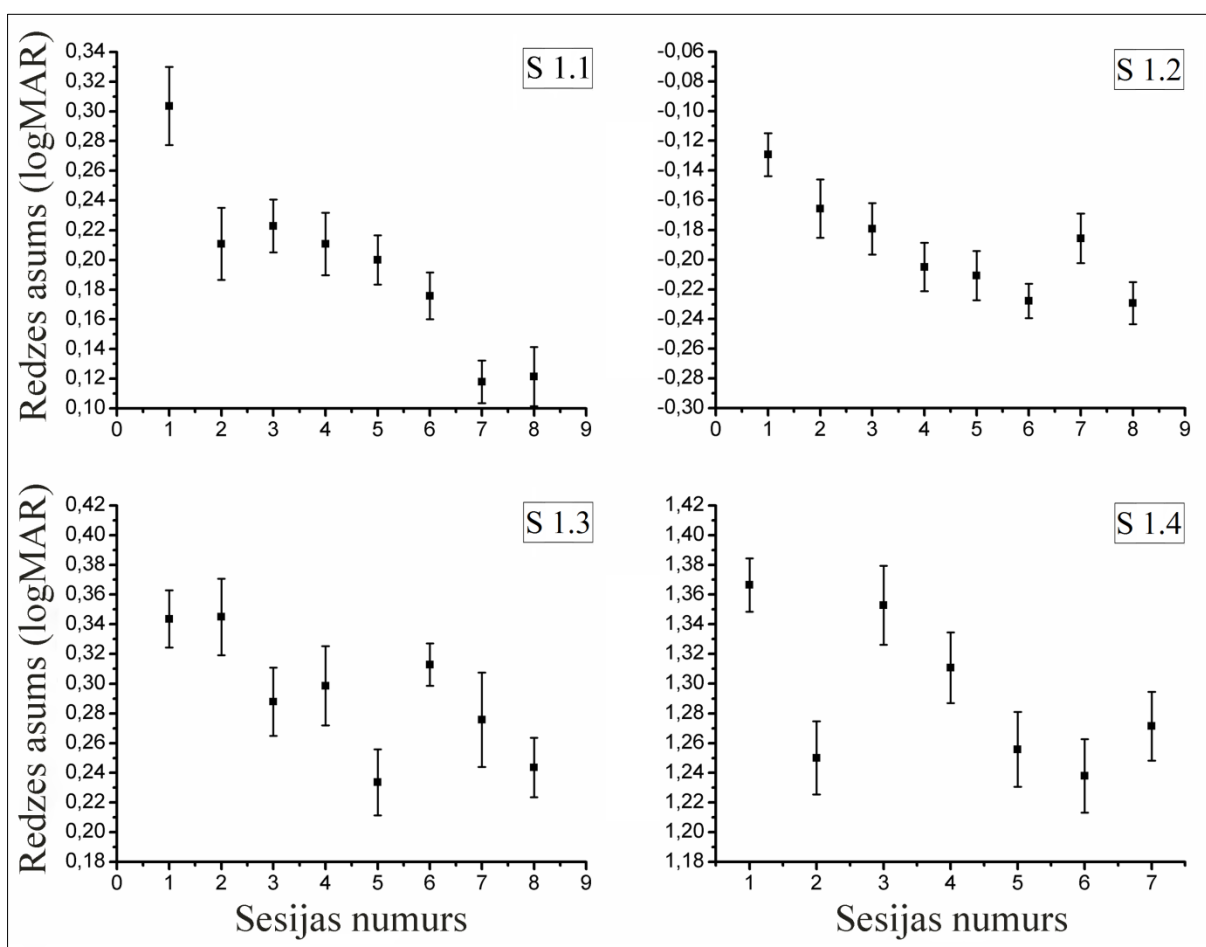
Visiem dalībniekiem divu mēnešu laikā regulāri reizi nedēļā tika mērīts redzes asums ar datorizētu programmu redzes asuma mērīšanai - *Freiburg Visual Acuity & Contrast Test* (FrACT). FrACT ir ērta programma ātrai un objektīvai redzes asuma mērīšanai, bez sistemātiskas kļūdas un ar atkārtojamības starpību (*test-retest difference*) tuvu nullei. Tā izmanto trepjveida psihofizikālo metodi. Optotipu izmēri ir atkarīgi no attāluma līdz monitoram un no monitora izšķirtspējas, optotipu orientācija tiek aprēķināta nejauši katram mēģinājumam. Problēmas vienīgi var rasties, ja dalībnieks nejauši kļūdīsies jau mērījuma sākumā, kad tiek radīts liels optotips. Tad programmas algoritms pārāk ilgi meklēs vajadzīgo simbolu lielumu un rezultātā neuzradīs patieso redzes asumu. Tāpēc šādā gadījumā labāk pārtraukt mērījumu un uzsākt to no jauna. (31)

Dalībniekiem no 4,5 metru attāluma uz CRT monitora tika radīti Landolta gredzens un ar klaviatūras palīdzību bija jāizvēlas, kurā no astoņiem iespējamiem virzieniem tas ir vērsts. Katras sesijas laikā bija izdarīti 14 mērījumi, kas aizņēma ap 20 minūtēm. Katrs simbols tika radīts 5-7 sekundes. Viena mērījuma laikā tika radīti 24 optotipi. Rezultātus pierakstīja logMAR sistēmā. Kopumā katrs dalībnieks izpildīja 7-8 sesijas.

Pirmai grupai izmantoja jaunāku 2010. gada programmas versiju – FrACT 3.6.3 – bez *feedback*, bet pēc katras pareizās un nepareizās atbildes tika atskaņotas atšķirīgas skaņas. Otrai grupai tika izmantota vecāka 2007. gada programmas versija – FrACT 2.3 – ar *feedback*, kad pēc katras nepareizās atbildes optotips tika īslaicīgi palielināts. Daļai dalībnieku bija iespēja izmantot arī skaņas signāli, lai gūtu informāciju par pareizu vai nepareizu atbildi.

## REZULTĀTI

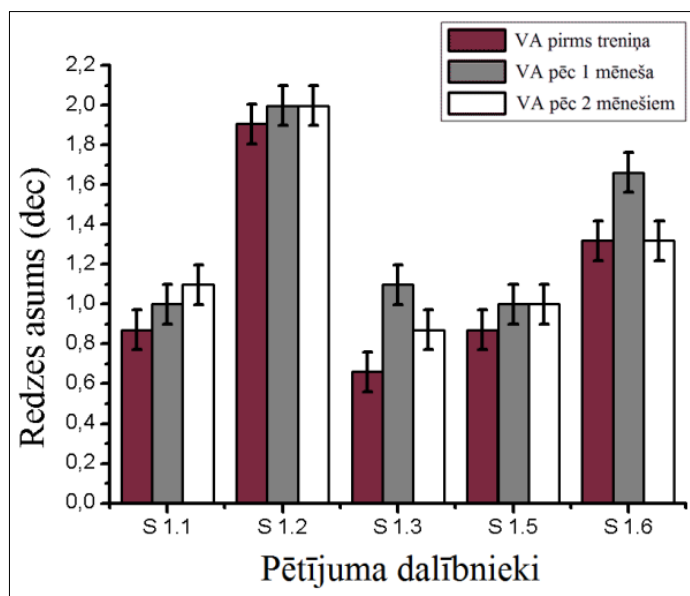
Pēc 2 mēnešiem četriem dalībniekiem no pirmās grupas tika konstatēts redzes asuma uzlabojums. Pēc ceturtais sesijas šis uzlabojums atbilsta 0,07 logMAR vienībām, kas visumā ir līdzīgs ar *Heinrich et al.* pētījuma (30) rezultātiem. Pēc astotās sesijas vidējais redzes asuma uzlabojums šiem dalībniekiem bija  $0,12 \pm 0,02$  logMAR vienības vai 1,2 ETDRS tipa tabulas līnijas (att. 5.1). Atšķirības starp pirmo un ceturto, pirmo un astoto, ceturto un astoto sesiju bija statistiski būtiskas (*paired t-test*). Diviem no sešiem dalībniekiem nebija novērojams būtisks redzes asuma uzlabojums.



**5.1. att.** Četru dalībnieku redzes asuma izmaiņas (logMAR vienībās) 7-8 sesiju laikā. Katram mērījumam ir parādīta standartklūda. Vidējais redzes asuma uzlabojums pēc astotās sesijas ir 0,12 logMAR vienības

Tātad rezultāti parāda, ka divu mēnešu laikā ir iespējams sasniegt redzes asuma uzlabojumu par aptuveni vienu ETDRS tipa tabulas rindiņu. Pirmās grupas dalībniekiem

redzes asums tika nomērīts arī ar parastu Snellena tipa tabulu. Mērījumi tika veikti pirms treniņu uzsākšanas, pēc ceturtais un pēc astotās sesijas (att. 5.2).

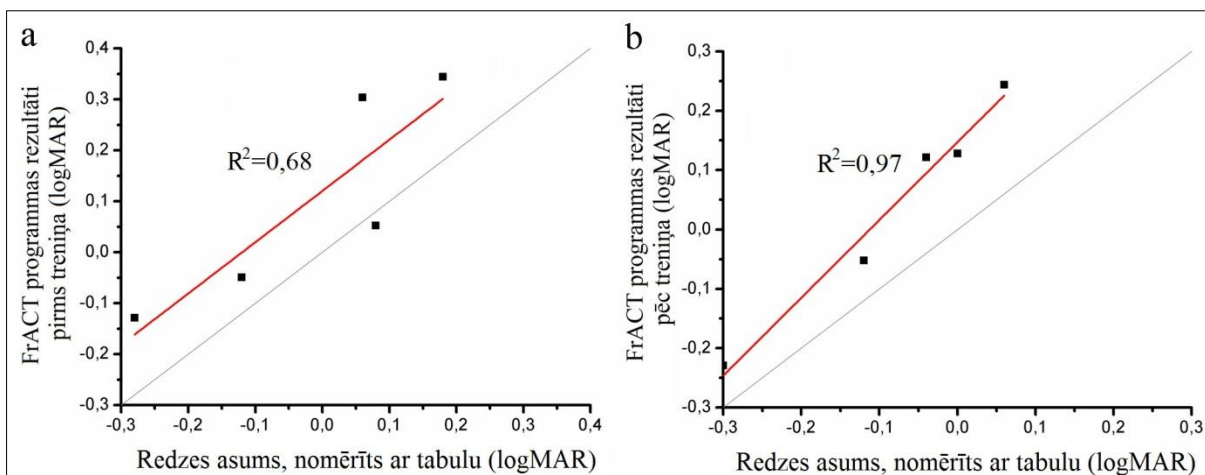


**5.2. att. Piecu dalībnieku redzes asuma (VA) izmaiņas, nomērītas ar redzes asuma tabulu. Redzes asums izteikts decimālās vienībās**

Uzlabojums parādījās arī šajā gadījumā<sup>3</sup> (vidēji 0,11 logMAR), kas izslēdz iespējamību, ka iegūtais uzlabojums ir saistīts tikai ar dalībnieku pielāgošanos FrACT programmai. Mērot redzes asumu ar parastās tabulas palīdzību, neliels uzlabojums parādījās arī dalībniekam S1.5, kuram ar FrACT programmu šis uzlabojums netika novērots. No attēla 5.3 ir redzams, ka ar tabulu mērītais redzes asums visiem dalībniekiem sanāk augstāks, salīdzinot ar rezultātiem, iegūtiem no FrACT programmas. Tas ir saistāms ar to, ka ar tabulu iegūtie rezultāti ir neprecīzāki nekā tie, kurus iegūst ar FrACT programmu, jo rezultāti būs atkarīgi no tā, vai tiek ieskaitītas pareizi nosauktās rindiņas vai arī katrs pareizi nosaukts simbols, turklāt pacientiem ļauj skatīties uz simboliem neierobežoti ilgu laiku, katrā rindiņā ir tikai pieci simboli un mērījums tika veikts tikai vienu reizi. Kopumā redzes pārbaudes tabulām mērījuma precizitāte ir  $\pm 0,1$  logMAR vienība (32). Tā kā vidējais redzes asuma uzlabojums ir gandrīz vienāds ar šo kļūdu, tad mērot redzes asumu, izmantojot tabulas, var arī nenovērot uzlabojumu, kas tiek konstatēts FrACT programmas mērījumiem.

<sup>3</sup> Dalībnieka S 1.2 rezultātus var neņemt vērā, jo tā redzes asums ir ļoti augsts, bet tabulas optotipu lielums bija ierobežots, līdz ar to rezultāti neatspoguļo pilnu redzes asuma izmaiņu. Šī iemesla dēļ ar tabulas palīdzību netika mērīts arī dalībnieka S 1.4 redzes asums, jo tas, savukārt, bija pārāk zems – mazāks par 0,1.

Redzes asums ar tabulu tika nomērīts arī katrai acij atsevišķi. Dažiem dalībniekiem tika novērots liels vienas acs redzes asuma uzlabojums, mērot redzes asumu monokulāri, bet tas nebija saistīts ar vadošo aci.

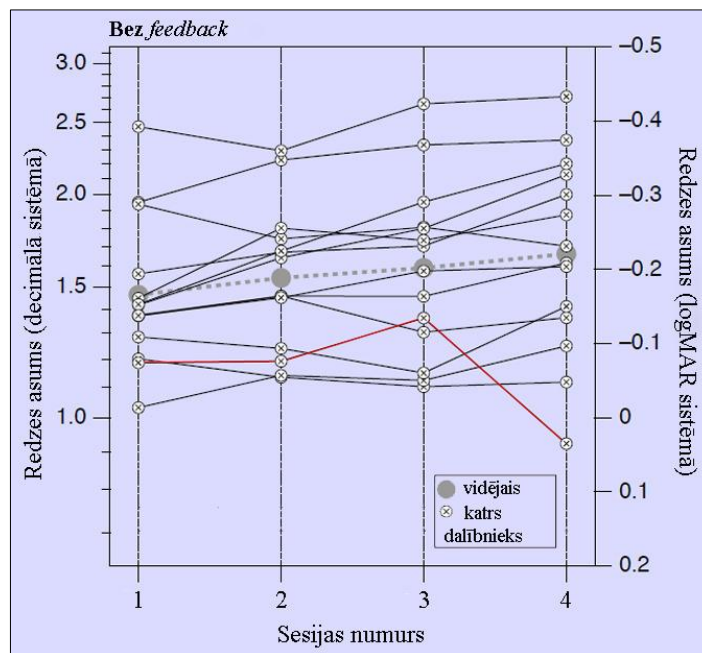


**5.3. att. Korelācija starp redzes asuma vērtībām, iegūtām ar Snellena tipa tabulu un FrACT programmu, pirms treniņa (a) un pēc 2 mēnešu ilgā treniņa (b). Ar pelēku līniju attēlots ideāls gadījums, kad ar tabulu veiktie mērījumi pilnīgi sakrīt ar FrACT programmas rezultātiem**

No korelācijas starp mērījumiem, iegūtiem ar tabulu un FrACT programmu (att. 5.3), var redzēt, kā pēc treniņa dalībnieku rezultāti ir kļuvuši stabilāki (korelācija starp divām mērījuma metodēm ir kļuvusi lielāka). Iespējams, ka pat neradot statistiski būtisku uzlabojumu redzes asumā, treniņi ir izmainījuši stimulu uztveri.

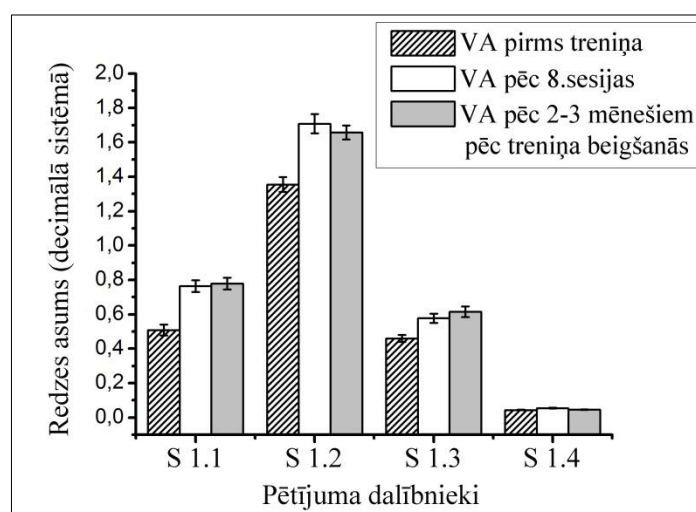
Dalībniekiem arī tika nomērīta refrakcija pētījuma sākumā un beigās ar autorefraktometra palīdzību. Salīdzinot datus (*paired t-test*), nav novērojama refrakcijas izmaiņa pēc treniņa, kas varētu liecināt par to, ka uzlabojums ir neirāls un notiek pateicoties izmaiņām redzes garozā.

Diviem dalībniekiem netika konstatēts redzes asuma uzlabojums. Par iemeslu tam varētu būt tas, ka viens dalībnieks pastāvīgi lietoja medikamentus, bet vispār mācīšanās efekts ir diezgan individuāls. Arī *Heinrich et al.* pētījumā dažiem dalībniekiem grupā bez *feedback* netika novērots uzlabojums, bet atsevišķos gadījumos redzes asums pasliktinājās pēc 4. sesijas (att. 5.4). (30)



5.4. att. Heinrich et al. pētījuma 13 dalībnieku (no grupas, kurai izmantoja programmu bez feedback) redzes asuma izmaiņas 4 sesiju laikā. Dažiem dalībniekiem redzes asums nemainās, bet atsevišķos gadījumos pat pasliktinās (sarkanā līnija) (30)

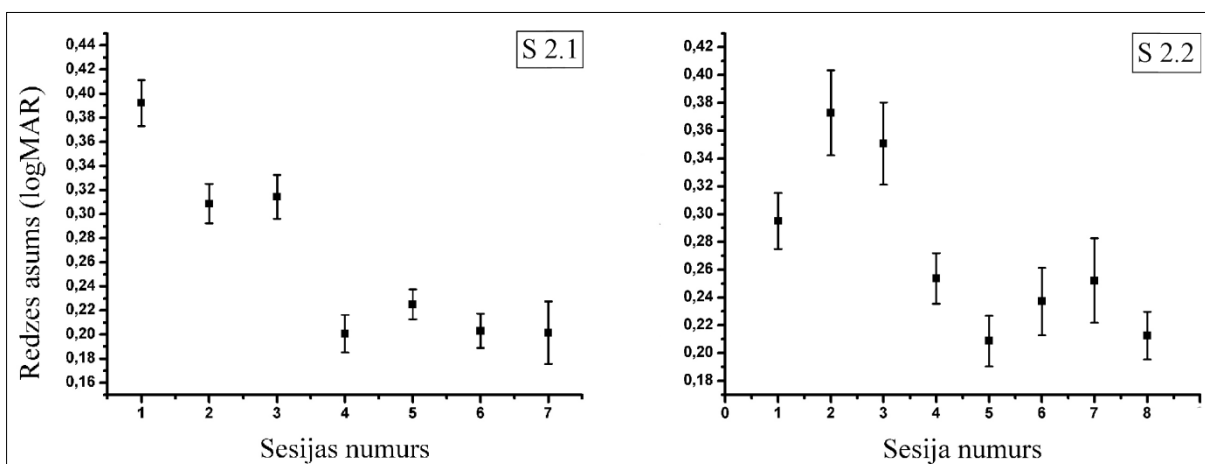
Trim dalībniekiem redzes uzlabojums saglabājas arī pēc 2-3 mēnešiem pēc treniņa beigšanas (*paired t-test*), tātad uzlabojums ir noturīgs (att. 5.5). Uzlabojums nesaglabājas tikai dalībniekam (S1.4) ar augstas pakāpes miopiju. Šis dalībnieks korekciju nēsāja pastāvīgi. Domājams, ka šāda veida treniņi, tāpat kā *NeuroVision* programma, vairāk ir noderīgi zemas pakāpes miopiem, kas nenēsā korekciju pastāvīgi.



5.5. att. Četru dalībnieku redzes asums (decimālajās vienībās) treniņa sākumā (striņainas kolonnas), pēc astotās sesijas (baltās kolonnas) un 2-3 mēnešus pēc treniņa beigšanās (pelēkas kolonnas). Katram mērījumam ir parādīta standartklūda

Pēc diviem mēnešiem, izmantojot FrACT programmu bez *feedback*, izdevās sasniegt divreiz lielāku uzlabojumu nekā *Heinrich et al.* pētījumā, kurā redzes asums tika trenēts tikai 1 mēnesi. Iegūtais uzlabojums saglabājās vismaz 2-3 mēnešus. Tomēr, apjautājot dalībniekus, izrādījās, ka ikdienas dzīvē viņi nepamanīja nekādas izmaiņas redzes kvalitātē. Iespējams uzlabojums ir pārāk mazs, lai būtiski ietekmēt ikdienas redzes kvalitāti, vai arī tādēļ, ka šis uzlabojums tika sasniegts pakāpeniski, dalībnieki nejūt atšķirību.

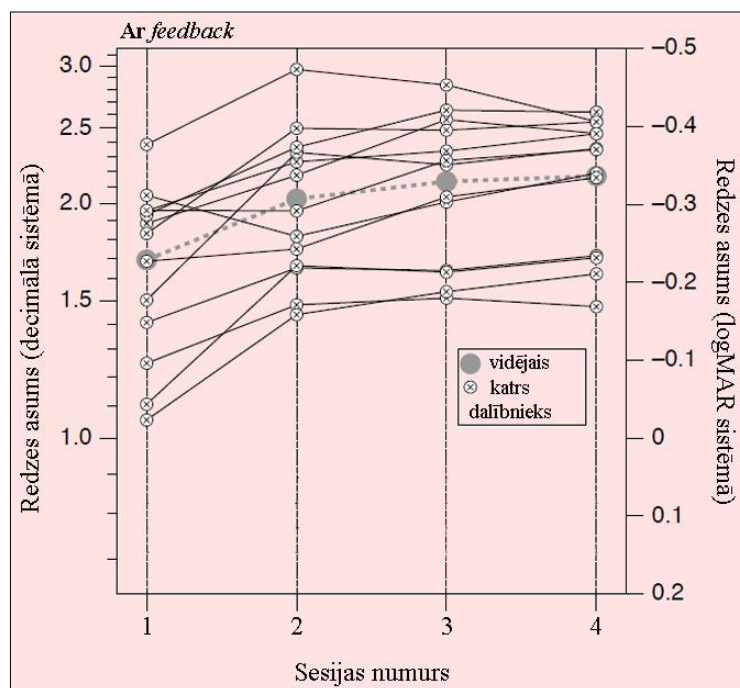
Otrai grupai, kurai izmantoja FrACT programmu ar *feedback*, pēc diviem mēnešiem statistiski būtisku (*paired t-test*) uzlabojumu konstatēja 2 dalībniekiem no 7. Vienam dalībniekam šis uzlabojums ir gandrīz divas līnijas – 0,19 logMAR vienību, otram – tikai 0,08 logMAR vienības (att. 5.6) un vidējais uzlabojums abiem ir  $0,14 \pm 0,02$  logMAR vienības. Pārējiem dalībniekiem uzlabojuma nebija. Kā jau bija minēts, mācīšanās efekts ir individuāls, par ko liecina arī citu pētījumu (12, 18, 21) rezultāti un arī *Durrie & McMinn* pētījumā (1) ir izteikts pieņēmums, ka atšķirības dalībnieku sniegunā var būt atkarīgas no individuālās smadzeņu plasticitātes līmeņa. Mācīšanas efekts arī var būt atkarīgs no daudziem faktoriem, piemēram, tādiem, ka vispārējais veselības stāvoklis, motivācija, treniņu biežums un regularitāte (otras grupas dalībniekiem biežāk izlaida sesijas), dalībnieka iepriekšējā pieredze.



**5.6. att. Divu dalībnieku redzes asuma izmaiņas (logMAR vienībās) 7-8 sesiju laikā. Katram mērījumam ir parādītas standartklūdas. Pirmā dalībnieka (S2.1) redzes asuma uzlabojums ir 0,19 logMAR vienības, otrā (S2.2) dalībnieku uzlabojums ir 0,08 logMAR vienības**

Tikai vienam dalībniekam (S2.1) redzes asuma uzlabojums atbilst *Heinrich et al.* pētījumam – var redzēt lēcieni starp pirmo un otro sesiju un arī redzes asums uzlabojas par 0,19 logMAR vienībām jau pēc 4.sesijas. Šāds uzlabojums gan ir lielāks par vidējo

uzlabojumu grupai ar *feedback Heinrich et al.* pētījumā, bet ir līdzīgs atsevišķu dalībnieku uzlabojumam (att. 5.7). (30) Pārējiem dalībniekiem vairumā tika novērotas tikai redzes asuma svārstīšanās, jo redzes asums nav stabilā vērtība, tā var mainīties un būt atkarīga, piemēram, no redzes slodzes pirms mērījuma.



5.7. att. *Heinrich et al.* pētījuma 14 dalībnieku (no grupas, kurai izmantoja programmu ar *feedback*) redzes asuma izmaiņas 4 sesiju laikā (30)

Tas, ka pārējiem dalībniekiem nav uzlabojuma vai tas ir mazāks par *Heinrich et al.* pētījuma rezultātiem, var būt izskaidrojams ar to, ka mana darba dalībniekiem bija izmantots cits *feedback* nekā *Heinrich et al.* pētījumā – pēc katras nepareizas atbildes pirms nākoša simbola parādīšanās dalībniekiem tika radīts palielināts simbols. Daži dalībnieki sūdzējās, ka šāds *feedback* viņiem traucē, jo bija nesaprotami, vai tiek radīts jau nākošais simbols, vai arī iepriekšējais tiek palielināts. *Heinrich et al.* pētījumā pēc katras atbildes uz monitora parādījās liels astoņstūris, norādot pareizo virzienu. Šāds *feedback* dalībniekiem varētu būt ērtāks un saprotamāks. Turklāt šis grupas dalībniekiem bija traucēta treniņu regularitāte – dažādu apstākļu dēļ sesijas tika izlaistas.

Salīdzinot gan vidējo uzlabojumu pirmajai un otrai grupai (0,12 logMAR un 0,14 logMAR), gan atsevišķo dalībnieku uzlabojumu (pirmās grupas dalībniekam S1.1 – 0,18 logMAR otrās grupas dalībniekam S2.1 – 0,19 logMAR). Šie rezultāti, atšķirībā no *Heinrich et al.* pētījuma rezultātiem, parāda, ka *feedback* izmantošana būtiski neietekmēja uzlabojuma

lielumu, kas arī liecina par to, ka *Heinrich et al.* pētījumā tika izmantots ērtāks un efektīvāks *feedback*.

Ka var redzēt no 5.6. attēla, dalībniekam S2.1 uzlabojums 0,19 logMAR vienības tiek sasniegts 4.sesijas laikā un saglabājas gandrīz nemainīgs līdz 8.sesijas. Tas uzvedina uz domu, ka uzlabojums, kuru var sasniegt izmantojot FrACT programmu, var būt ierobežots un 0,19 logMAR vienības ir sliekšnis, virs kura uzlabojums vairs nav iespējams. Bet balstoties tikai uz viena dalībnieka rezultātiem, to nevar apgalvot droši.

Apjautājot dalībnieku S2.1 par subjektīvu redzes kvalitātes uzlabojumu, izrādījās, ka ikdienas dzīvē nekādas izmaiņas dalībnieks nejūt, tikai ievēroja, ka simboli, kurus rada programma, kļuvuši mazāki, salīdzinot ar treniņa sākumu.

Pirmās grupas dalībniekiem, lai pārbaudīt vai pēc treniņa mainās acs optiskās īpašības, tika mērīta refrakcija pirmā un pēc treniņa. Otrās grupas dalībniekiem tika mērīts radzenes liekums treniņa sākumā un beigās – rezultāti būtiski neatšķīrās (*paired t-test*). Tas arī apstiprina to, ka pašas acs optiskās īpašības nemainās, izmaiņas (ja tādas ir) notiek smadzenēs.

Analizējot pirmās un otras grupas dalībnieku rezultātus, var secināt, ka regulāri mērot redzes asumu izmantojot FrACT programmu var uzlabot redzes asumu vidēji par  $0,13 \pm 0,02$  logMAR vienībām (vidējais rezultāts abām grupām), bet *feedback* izmantošana būtiski neuzlabo rezultātus, kas nesakrīt ar *Heinrich et al.* pētījumu. Tomēr šī atšķirība var būt saistīta ar izmantota *feedback* atšķirību.

Metodes efektivitāte būs atkarīga gan no treniņa ilguma un regularitātes, gan no individuālām īpašībām, gan no tādiem faktoriem, kā veselības stāvoklis, motivācija, korekcijas veids utt. Uzlabojums būs mazāks, nekā izmantojot *Durrie&McMinn* pētījumā piedāvāto *NeuroVision* programmu, bet tomēr divu mēnešu laikā var sasniegt vismaz pusi no *NeuroVision* rezultāta un šajā darbā izmantoto metodi var izmantot kā bezmaksas alternatīvu *NeuroVision* metodei.

Piedāvātas metodes negatīvas puses ir tas, ka redzes asuma uzlabojums var būt ierobežots, kas tika novērots otras grupas dalībniekam S2.1, bet tā kā mācīšanās efektivitāte atšķiras dažādiem dalībniekiem, balstoties tikai uz viena dalībnieka rezultātiem nevar droši apgalvot, ka  $\sim 2$  līnijas ir lielākais iespējamais uzlabojums.

## SECINĀJUMI

1. Izmantojot redzes asuma mērījumiem paredzētu datorprogrammu, kurā kā stimuluss tiek izmantots Landolta gredzens, 2 mēnešu laikā ir iespējams statistiski nozīmīgi uzlabot redzes asumu par aptuveni 1 ETDRS tipa tabulas rindiņu ( $\sim 0,13 \pm 0,02$  logMAR vienības). Šīs metodes efektivitāte ir individuāla katram cilvēkam.

2. Pēc treniņu beigām uzlabojumu uzrādīja arī ar redzes asuma tabulu veiktie mērījumi ( $\sim 0,11 \pm 0,02$  logMAR vienības). Tas varētu liecināt par uzlabojumu neirālā līmenī nevis tikai pierašanu pie programmas.

3. Atgriezeniskās saites (*feedback*) stimula izmantošana negarantē redzes treniņu efektivitātes pieaugumu. Tikai 2 dalībniekiem no 7 tika konstatēts redzes asuma uzlabojums, izmantojot datorprogrammu ar atgriezeniskās saites stimulu. Iespējams, ka tādi faktori kā dalībnieka motivācija un treniņu regularitāte ir daudz svarīgāki faktori nekā atgriezeniskās saites stimula izmantošana treniņos.

4. Kopumā uztveres treniņi ar redzes asuma datorprogrammu nav tik efektīvi kā treniņi ar sarežģītākiem stimuliem (Gabora režģiem), tomēr, ņemot vērā katrai no metodei nepieciešamās izmaksas, treniņi ar redzes asuma datorprogrammu ir laba alternatīva maksas treniņiem ar sarežģītākiem stimuliem, jo var dod pusi no tiem uzlabojumiem, ko var iegūt ar komerciāli pieejamām metodēm.

## **PATEICĪBAS**

Paldies darba vadītājam Gatim Ikauniekam par palīdzību tēmas izvēlē un par padomu sniegšanu darba izveidē, ka arī pateicos visiem dalībniekiem, kas piekrita veltīt veselus divus mēnešus redzes treniņam.

## LITERATŪRAS AVOTI

1. **Durrie, D. S., McMinn, P. Sh.** Computer-based primary visual cortex training for treatment of low myopia and early presbyopia. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 2007, vol. 105, p. 132-140.
2. **Stalīdzāne, L.** Redzes asuma pārbaude ar dažādu tipu tabulām: bakalaura darbs. LU Fizikas un Matemātikas fakultāte. Rīga: Latvijas Universitāte, 2010. 32 lp.
3. **Colenbrander, A.** The Historical Evolution of Visual Acuity Measurement. *Visual Impairment Research*, 2008, N 2-3, vol. 10, p. 57-66.
4. *Visual acuity*. Pieejams: [http://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_acuity](http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_acuity)
5. **Schwartz, S. H.** *Visual perception: a clinical orientation*. New York : McGraw-Hill, Medical Pub, 2004. 471 p.
6. **Snowden, R. J., Thompson, P., Troscianko, T.** *Basic vision: an introduction to visual perception*. New York : Oxford University Press, 2006. 382 p.
7. **Polat, U.** Restoration of underdeveloped cortical functions: Evidence from treatment of adult amblyopia. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 2008, vol. 26, p. 413-424.
8. **Fahle, M., Poggio, T.** *Perceptual learning*. Massachusetts: MIT Press, 2002. 455 p.
9. **Ponti, G., Peretto, P., Bonfanti, L.** Genesis of Neuronal and Glial Progenitors in the Cerebellar Cortex of Peripuberal and Adult Rabbits. *PLoS ONE*, 2008, N 6, vol. 3, p. 1-19.
10. **Huang, C. B., Zhou, Y., Lu, Z. L.** Broad bandwidth of perceptual learning in the visual system of adults with anisometric amblyopia. *The Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 2008, N 10, vol. 105, p. 4068-4073.
11. **Chung, S. T., Li, R. W., Levi, D. M.** Learning to identify near-threshold luminance-defined and contrast-defined letters in observers with amblyopia. *Vision Research*, 2008, N 27, vol. 48, p. 2739-2750.
12. **Levi, D. M., Polat, U.** Neural plasticity in adults with amblyopia. *The Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 1996, vol. 93, p. 6830-6834.
13. **Chen, P. L., Chen, J. T., Fu, J. J., Chien, K. H, Lu, D. W.** A pilot study of anisometric amblyopia improved in adults and children by perceptual learning: an alternative treatment to patching. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2008, vol. 28, p. 422-428.
14. **Polat, U., Ma-Naim, T., Belkin, M., Sagi, D.** Improving vision in adult amblyopia by perceptual learning. *The Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 2004, N 17, vol. 101, p. 6692-6697.

15. **Levi, D. M.** Perceptual Learning in Adults with Amblyopia: A Reevaluation of Critical Periods in Human Vision. *Developmental Psychobiology*, 2005, N 3, vol. 46, p. 222-232.
16. **Ahissar, M.** Perceptual Learning. *Current Directions in Psychological Science*, 1999, N 4, vol. 105, p. 124-128.
17. **Ahissar, M., Hochstein, S.** The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 2004, N 10, vol. 8, p. 457-464.
18. **Fine, I., Jacobs, R. A.** Comparing perceptual learning across tasks: A review. *Journal of Vision*, 2002, vol. 2, Nr. 2, p. 190-203.
19. **Waring IV, G. O., Durrie, D. S.** NeuroLASIK. *Cataract & Refractive Surgery Today*, 2008, p. 52-53.
20. **Schultz, S. R.** Signal-to-noise ratio in neuroscience. *Scholarpedia*, 2007, N 6, vol. 2, p. 2046. Pieejams: [http://www.scholarpedia.org/article/Signal-to-noise\\_ratio\\_in\\_neuroscience](http://www.scholarpedia.org/article/Signal-to-noise_ratio_in_neuroscience)
21. **Levi, D. M., Polat, U., Hu, Y. S.** Improvement in Vernier Acuity in Adults with Amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 1997, N 8, vol. 38, p. 1493-1510.
22. *Perceptual learning*. Pieejams: [http://en.wikipedia.org/wiki/Perceptual\\_learning](http://en.wikipedia.org/wiki/Perceptual_learning)
23. **Achtman, R. L., Green, C. S., Bavelier, D.** Video games as a tool to train visual skills. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 2008, vol. 26, p. 435-446.
24. *Bates method*. Pieejams: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bates\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Bates_method)
25. Complementary Therapy Assessments: Visual Training for Refractive Errors. American Academy of Ophthalmology, 2004. Pieejams: [http://one.aao.org/CE/PracticeGuidelines/Therapy\\_Content.aspx?cid=d7238b2b-a59f-49f6-9f30-64d1e84efc3b#references](http://one.aao.org/CE/PracticeGuidelines/Therapy_Content.aspx?cid=d7238b2b-a59f-49f6-9f30-64d1e84efc3b#references)
26. **Skarnulis, L.** Natural Vision Correction: Does It Work? *WebMD*, 2007. Pieejams: <http://www.webmd.com/eye-health/features/natural-vision-correction-does-it-work>
27. **Li, R. W., Provost, A., Levi, D. M.** Extended Perceptual Learning Results in Substantial Recovery of Positional Acuity and Visual Acuity in Juvenile Amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2007, N 11, vol. 48, p. 5046-5051.
28. **Zhou, Y., Huang, C., Xu, P., Tao, L., Qiu, Z., Li, X., Lu, Z. L.** Perceptual learning improves contrast sensitivity and visual acuity in adults with anisometric amblyopia. *Vision Research*, 2006, N 5, vol. 46, p. 739-750.
29. **Polat, U., Ma-Naim, T., Spierer, A.** Treatment of children with amblyopia by perceptual learning. *Vision Research*, 2009, N 21, vol. 49, p. 2599-2603.

30. **Heinrich, S. P., Krüger, K., Bach, M.** Practice effects in acuity testing. *Perception*, 2010, vol. 39, ECVF Abstract Supplement, p. 43.

31. **Bach, M.** The Freiburg Visual Acuity Test-Variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2007, vol. 245, Nr. 7, p. 965-971.

32. **Hazel, C. A., Elliott, D. B.** The Dependency of LogMAR Visual Acuity Measurements on Chart Design and Scoring Rule. *Optometry & Vision Science*, 2002, N 12, vol. 79, p. 788-792.