

Latvijas Universitātes
Fizikas un Matemātikas fakultātes
Optometrijas un Redzes Zinātnes nodaļa

Karīna Aņisko
VEP un stereoredze

Maģistra darbs

Darba Vadītājs:
Doc., Gunta Krūmiņa

Rīga 2006

Kopsavilkums

Darba mērķis.

Ar VEP iekārtu noteikt stereo stimula ietekmi VEP atbildēs, apstrādājot datus ar Furjē analīzi.

Darba uzdevumi.

- Izveidot iekārtu un stimulus stereo VEP atbildes iegūšanai;
- Novērtēt Furjē analīzes pielietojšanas iespējas stereo VEP rezultātu analīzē;
- Iegūt monokulāru, binokulāru un stereo VEP;
- Savstarpēji salīdzināt divas dažādas metodes stereo VEP iegūšanai.

Subjekti.

Pētījumā piedalījās 4 subjekti vecumā no 24 līdz 34 gadiem. Visiem netraucēta binokulārā redze un redzes asums monokulāri > 0.9 .

Metodes.

Darbā eksperiments veidots trijās daļās. Tika veidotas trīs datorprogrammas. Pirmajā daļā tika iegūtas VEP standartlīknes. Otrajā daļā tika iegūtas stereo VEP līknes, izmantojot sarkani-zaļās brilles. Trešajā eksperimenta daļā tika iegūtas stereo VEP līknes, izmantojot spoguļa iekārtu un izkliedēto punktu stereogrammas.

Rezultāti.

Visiem subjektiem binokulārās VEP atbildes amplitūdas ir mēreni lielākas nekā monokulārās smadzeņu aktivitātes atbildes. Vislielāko stereo VEP ieguldījumu iegūst ar spoguļsistēmas metodi un izkliedēto punktu stereogrammām. Pie otrās eksperimenta daļas ar sarkani-zaļām brillēm šis stereo efekts nebija tik izteikts salīdzinoši.

Atslēgas vārdi.

VEP, stereo redze, Furjē

Abstract

The aim.

Establish stereo stimulus effect on stereo VEP responses, analyse responses with Fourier analysis.

The tasks.

- Develop equipment and stimulus to measure VEP;
- Assess Fourier analysis potential use in stereo VEP response;
- Obtain monocular, binocular and stereo VEP responses;
- Mutually compare two different methods to obtain stereo VEP.

The subjects.

In experiment participate 4 subjects in age from 24 – 34 years old. All have normal binocular functions and *Visus* > 0.9 monocular.

Methods.

At work the experiment is set in three parts. Three programmes are made to show on computer. At the first part of the experiment I obtain VEP standart measures. At the second part I obtain stereo VEP using red-green goggles. At the third part of the experiment I use the mirror equipment and random dot stereogramms to obtain stereo VEP.

The results.

For all subjects binocular VEP responses were mild bigger than monocular brain activity responses. The best stereo VEP input at VEP recordings I get with the mirror equipment and random dot stereogramms. At the second part of the experiment with red-green goggles stereo effect was not so manifest for compare.

Key words.

VEP, stereo vision, Fourier analysis

Satura rādītājs

Kopsavilkums

Abstract

Ievads.....	1
1. Redzes izsaukto potenciālu pārskats.....	2
1.1 Ievads.....	2
1.2 Redzes izsauktie potenciāli VEP.....	3
1.2.1 VEP metodes pārskats.....	3
1.2.2 Metodes ietekmējošie faktori.....	4
1.2.3 VEP reģistrēšanas metodes.....	4
1.2.4 VEP loma redzes ceļu saslimšanas diagnostikā.....	6
1.2.5 ISCEV standarti VEP metodei.....	10
1.3 Redzes izsaukto potenciālu metožu modifikācijas.....	12
1.3.1 Multifokālais mfVEP.....	12
2. Optimālā redzes izsaukto potenciālu atrašana.....	15
2.1 Ievads.....	15
2.2 Saderīgās filtrēšanas.....	16
2.3 VEP signālu modeļi.....	17
2.4 Filtra veidošana.....	17
2.5 Izmantotās metodes.....	19
2.6 Datu analīze.....	20
3. VEP un binokulārā redze.....	21
3.1 Redzes izsauktie potenciāli.....	21
3.2 VEP un binokulārā summācija.....	22
3.3 VEP un stereopse.....	26
3.4 Dinamisko izkliedēto punktu stereogrammas.....	28
4. Furjē analīzes pielietojums redzes izsauktos potenciālos.....	29
4.1 Ievads.....	29
4.2. Furjē analīzes nozīme.....	29
4.2.1 Mērķis.....	29
4.2.2 Analīzes intervāls.....	31
4.2.3 Līkņu slīpums un virziens.....	34

4.2.4 Apstrādes metode.....	36
4.2.5 Stimulu skaits.....	39
4.2.6 Signāla un trokšņa attiecība.....	39
4.2.7 Secinājumi.....	41
5. Stereoskopiskā redze.....	42
5.1 Telpiskā dziļuma uztvere.....	42
5.2 Stereo redzes nelabvēlīgi ietekmējošie faktori.....	43
5.3 Kādās mērvienībās izsaka stereopsi.....	43
5.4 Mākslīga stereoattēla veidošana.....	44
Eksperimentālā daļa.....	45
1. Ievads.....	45
2. Darba uzdevumi.....	45
3. Darba grupas atlase.....	45
4. Eksperimenta testa programmas.....	46
5. Kļūdas novērtējums.....	50
6. Rezultāti.....	50
7. Rezultātu analīze.....	51
8. Secinājumi.....	61
9. Nobeigums.....	62
Pateicība.....	63
Izmantotā literatūra.....	64
Pielikumi.....	66

Ievads

Stereopse tāpat kā binokulārā redze attīstības procesā ir nestabila, tādēļ tai jāpievērš īpaša uzmanība funkciju profilaktiskajās apskatēs. Ir daudz ārēju un fizioloģiskas dabas faktoru, kas var izraisīt šo procesu anormālu attīstību. Viens no visbiežākajiem iemesliem ir nekontrolētas vai neizkorigētas augstas pakāpes ametropijas vai anizometropija, kas var radīt nopietnas binokulārās redzes problēmas. /1/

Medicīnā tiek atklātas daudzas izsaukto potenciālu metodes, ar kurām var novērtēt, diagnosticēt un prognozēt gan neiroloģiskas dabas saslīmšanas, gan arī kopumā trīs sensoros sistēmu novērtēšanai – redzei, dzirdei, tausti. Redzes izsaukto potenciālu metožu pielietojums ir ļoti daudzpusīgs. Elektriskie lauki, ko ģenerē redzes garoza ir zināmi kā redzes izsauktie potenciāli. Redzes ceļus ar šo metodi var novērtēt gan pieaugušajiem, gan bērniem, kā arī subjektiem ar neirāliem traucējumiem, psihiatrijas pacientiem, pacientiem simulantiem. VEP pielieto, lai atklātu binokulāro mehānismu divas īpašības – summāciju un supresiju, kā arī papildus stereopsi.

Ir vairākas problēmas, kas jārisina attiecībā uz VEP izmaiņām sakarā ar stereoskopiska attēla dziļuma izmaiņām, kas ir balstīta uz binokulāro disparitāti.

Furjē analīze ir ļoti noderīga un daudz pielietojama analīzes metode redzes izsaukto potenciālu iegūto rezultātu analīzē, kā, piemēram, flikera ERG, patterna ERG, VEP u.c..

Stereo VEP ir īpaši nozīmīgs bērnu stereo redzes novērtēšanā klīnikā.

1. Redzes izsaukto potenciālu pārskats

1.1 Ievads

Medicīnā tiek atklātas daudzas izsaukto potenciālu metodes, ar kurām var novērtēt, diagnosticēt un prognozēt gan neiroloģiskas dabas saslimšanas, gan arī kopumā trīs sensoros sistēmu novērtēšanai – redzei, dzirdei, tausti. Redzes izsaukto potenciālu metožu pielietojums ir ļoti daudzpusīgs: iespējams novērtēt redzes ceļus, novērtēt dzirdi, atrast un diagnosticēt galvas smadzeņu apgabalu, garozas, muguras smadzeņu stumbra bojājumus, smadzeņu aktivitātes novērtēšanu. Kas saistās tieši ar redzi, tad interesē: redzes ceļu novērtējums, bojājumu lokalizācijas noteikšana, vai bojājumi ir acs priekšējās daļās, vai tīklenē, redzes nervā, pašos redzes vadītājceļos aiz redzes nerva, bojājumi galvas smadzeņu redzes garozā, diagnosticēt un savstarpēji atšķirt acu saslimšanas, piemēram, agrīna glaukoma, ilgstoša glaukoma, maza spiediena glaukoma, novērtēt subjektam redzes laukus. Nozīmīgi ir tas, ka metodes iespējams izmantot arī bērniem, veciem cilvēkiem, cilvēkiem ar psihiskām saslimšanām un subjektiem „simulantiem”.

Pielietojamās metodes ir:

- a) Tīkles elektoretinogrāfiju ERG;
- b) Acs elektrookulogrāfiju EOG;
- c) Redzes izsauktos potenciālus VEP;
- d) Pozitrona emisijas topogrāfiju PET;
- e) Funkcionālo magnētiskās rezonanses metodi fMRI;
- f) Multifokālo VEP;
- g) Multifokālo tīkles elektoretinogrāfiju mfERG;
- h) Šaha galdiņa stimula elektoretinogrāfiju pERG.

Izsaukto potenciālu metodes ir daudz, bet tās ir iespējams kombinēt, pētījumos vienam eksperimentam izmanto gan, piemēram, ERG un pERG, tā var metodes salīdzināt savstarpēji, var meklēt atšķirības un pateikt, kuru slimību un traucējumu ir iespējams labāk izpētīt ar kādu noteiktu metodi.

1.2 Redzes izsauktie potenciāli VEP

1960. gadā *Ciganek* piedāvāja izmantot redzes izsauktos potenciālus un gaismas zibsnī klīnikā. /2/ Viņš minēja, ka redzes izsauktie potenciāli ir ļoti smalki un mazi bioelektriski pieraksti. /3/

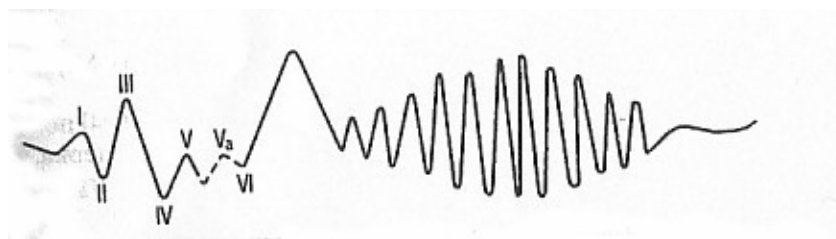
1976. gadā *Halliday* izmantoja kontrasta summāciju ar reversējošiem lauciņiem. Šīs metodes sāka izmantot klīnikā, lai diagnosticētu redzes ceļu saslimšanu, redzes nerva patoloģiju vai tā iekaisumu, atrofijas, traumu laikā bojātos apgabalus vai audzējus, patoloģiskos procesus hiazmā, redzes traktā, galvas smadzenēs, tāpat kā ambliopiju. /2/ Redzes ceļus ar šo metodi var novērtēt gan pieaugušajiem, gan bērniem, kā arī subjektiem ar neirāliem traucējumiem, psihiatrijas pacientiem, pacientiem simulantiem.

1.2.1 VEP metodes pārskats

Šajā metodē redzes izsauktie potenciāli atspoguļo summāro atbildi no liela smadzeņu garozas neironu apgabala. Pārsvārā ar šo metodi nosaka un parāda tīklenes centrālās makulārās daļas aktivitāti, jo redzes garozā tīklenes centrālā daļa aizņem lielāku daļu nekā tīklenes perifērā daļa. Tāpēc VEP vērtība samazinās, palielinoties skotomu skaitam redzes laukā. /2/ Neironi atbild ar īsiem impulsiem, ar kuru palīdzību neironu aksoni pārvada informāciju samērā lielos attālumos. Ja VEP atspoguļo impulsu veidošanās reakciju smadzeņu garozā, un elektrodus novieto uz galvas netālu no tiem, tiek reģistrēta tuvā lauka bioelektriskā aktivitāte (piemēram, komponente P₁₀₀ VEP pierakstos). /3/ Dzirdes potenciāli no smadzenes stumbra kodoliem ir tāla lauka biopotenciālu aktivitātes piemērs, jo elektrodus atrodas ievērojamā attālumā no signāla ģeneratora. Metodē kā stimulus izmanto uz datora ekrāna veidotos stimulus. Lai stimulētu foveolu, izmanto 10°-15° izmēra kvadrātus, lai stimulētu tīklenes pārējo daļu, izmanto 50° lielus kvadrātus. Metodi pielieto gan binokulāri, gan monokulāri. Tā kā smadzeņu signāli ir ļoti vāji, iekārtās izmanto spēcīgus pastiprinātājus, kas pastiprina signālus pat 10⁵ līdz 10⁶ reizes.

Metodē izvērtē gan signāla pārvadīšanas ātrumu – latenci, gan arī signāla stiprumu – amplitūdu. /2/ Tā kā VEP vērtība ir ievērojami mazāka (līdz 40 mV) nekā encefalogrammas impulsi (līdz 100 mV), lai to izdalītu, lieto vidējošanas metodi. /4/

VEP reģistrē signālus kā svārstību vai komponentu virkni (1.zīmējums), kas atšķiras ar polaritāti (pozitīvais – P, negatīvais – N), un pīķu latencēm – laiks no stimulācijas sākuma līdz svārstīšanas maksimuma sasniegšanai. /4/



1.zīm. VEP shematiskais attēls. /4/

VEP atbildes ir atkarīgas no stimula izmēra un no stimula rādīšanas metodes. VEP veidošanās arī ir saistīta ar kopīgiem sinhronizācijas mehānismiem, ko nosauc par smadzeņu spontāno aktivitāti. /4/

1.2.2 Metodes ietekmējošie faktori

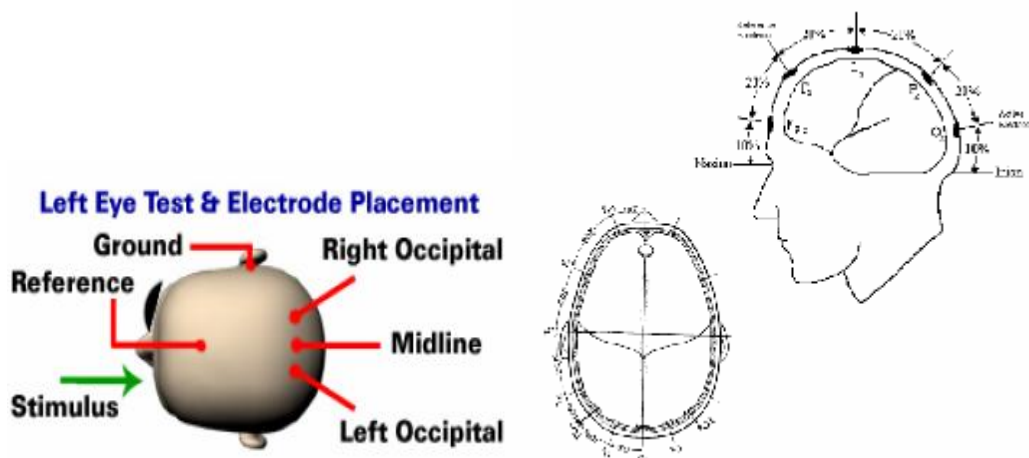
Metodē svarīgi ietekmējoši faktori ir zīlītes lielums, pacienta refrakcija, vecums un stimula un fona spožums, it īpaši tiek ietekmēta latence ar šiem parametriem. Zīlītes nepaplašina. Ar VEP var nodiagnosticēt arī izkaisīto sklerozi, kas ir nopietna saslimšana. Redzes izsauktie potenciāli ir atkarīgi no stimula veida: izmanto zibšņu VEP, „šaha galdiņa” stimulu VEP, u.c..

Zīlītes diametra samazināšanas dēļ samazinās tīklenes apgaismojums, kā rezultātā pagarinās latences periods. VEP latence samazinās subjektiem vecumā no 2 mēnešiem līdz 40 gadiem, un pēc tam lēnām palielinās pēc 80 gadiem. Vidējais latences laiks maziem „šaha galdiņa” kvadrātu stimuliem ir lielāks, nekā lieliem „šaha galdiņa” kvadrātiem. Pie emetropijas VEP latence ir zemāka nekā pie miopijas un hipermetropijas. Maziem bērniem ir nepieciešams reģistrēt amplitūdas straujas izmaiņas, tāpēc viņiem rekomendē izmantot īslaicīgu VEP./4/

1.2.3 VEP reģistrēšanas metodes

VEP pierakstiem izmanto speciālas datorizētas sistēmas, kas ļauj izdalīt potenciālus no trokšņiem.

Pie VEP reģistrācijas aktīvais elektrods (no zelta, sudraba utt.) piestiprinās uz 1.5 – 2 cm virs pakauša paugura, virs redzes garozas (17 apgabals). Labākam kontaktam izmanto abrazīvo pastu. Atkarībā no kuriem smadzeņu apgabaliem nepieciešams saņemt atbildes, attiecīgi pārvieto elektrodus no vidējas līnijas. Referentu elektrodu piestiprina uz pieres un zemes elektrodu un uz auss (2.zīmējums).



2.zīm. VEP elektrodu novietojums. / 5,6/

Skatīt 1.pielikumu.

Tā kā VEP amplitūdu mēra mV, nepieciešams pastiprināt signālus, izmanto filtrus un pastiprinātājus.

Latences P_{100} normas ir parādītas 3.zīmējumā

ПАТТЕРН-ЗВКП		
Размер стимулирующего поля, мм	Размер шахматного поля, дуговые мин	Латентность P_{100} , мс
4 × 4	6	119
8 × 8	12	110
16 × 16	25	109
32 × 32	50	118
64 × 64	100	123
128 × 128	199	141
ЗВКП НА ВСПЫШКУ, ЛАТЕНТНОСТЬ P_{100}		
Волна	Нижняя граница	Верхняя граница
N_{40}	36	60
P_{91}	50	90
N_{91}	70	120
P_{154}	95	155
N_{154}	115	200

3.zīm. Latences P_{100} normas. /4/

Eksperimentos un pētījumos izmanto dažādas VEP metožu modifikācijas:

- Zibšņu VEP;
- Kustības VEP;
- Krāsu hromatiskais VEP;
- Binokulārais VEP;
- Daudzu kanālu VEP;
- Multifokālais VEP;
- Daudz frekvenču VEP;
- Šķidro kristālu briļļu VEP.

1.2.4 VEP loma redzes ceļu saslimšanas diagnostikā

Pamata kritēriji VEP metodei, pēc kuriem var spriest, analizēt un diagnosticēt noteiktas acu saslimšanas ir: amplitūdu vai latences samazināšanās vai palielināšanās, komponentu nobīdes, līkņu izmaiņas, atšķirības starp monokulāri iegūtām līknēm. Šo potenciālu līkņu izmaiņas atļauj noteikt bojājuma lokalizāciju.

Piemēri:

- a) Pie pilnīga redzes nerva pārrāvuma pazūd izsaukto potenciālu līkne,
- b) Pie daļēja redzes nerva pārrāvuma vai nospiešanas samazinās potenciālu līkņu amplitūdas;
- c) Redzes izsaukto potenciālu traucējumi abu pušu pakauša daivās, ja tiek stimulēta viena acs, norāda uz bojājumu redzes nervā pirms hiazmas;
- d) Ja stimulē gan labo, gan kreiso aci un izmaiņas redzes izsauktajos potenciālos ir pakauša vienā daivas pusē, tad tas norāda uz bojājumiem aiz hiazmas /2/;
- e) Pie galvas audzējiem, it īpaši pie redzes ceļiem, ir novērojamas potenciālu līkņu izmaiņas, latence palielinās, bet amplitūdas samazinās;
- f) Subjektiem ar epilepsiju potenciālu līknes ir ritmiskas, atšķiras redzes stimula projekcijas galvas puslodēs. Epilepsijas slimniekiem aktivitāte novērojama atkarībā, kura acs tiek stimulēta neatkarīgi no stimulēta lauka acī. /7/.

VEP plaši izmanto oftalmoloģijā, neurooftalmoloģijā, neiroloģijā, neirofizioloģijā, lai novērtētu redzes ceļu stāvokļus un funkcionēšanas, patoloģisko procesu līmeņa lokalizācijas, redzes sistēmas attīstības novērtēšanu. /8/

Bieži vien ar elektroretinogrāfijas metodi nav iespējams novērtēt tīklenes funkcijas, jo ir kataraktas, tad tieši ar VEP metodi iespējams novērtēt šī signāla pārraidīšanu pa redzes ceļiem. VEP papildina elektroretinogrāfijas datus un ir vienīgā metode, kad iespējams iegūt rezultātus, kad elektroretinogrāfiju veikt nav iespējams.

Visplašāk pielieto reversējošo „šaha galdiņa” VEP metodi, jo tai komponentes ir stabilākas. Atbildes uz reversējošo VEP ir vieglāk reģistrēt nekā zibšņa VEP metodei, tam ir lielāka jutība uz patoloģiskiem izmaiņām redzes sistēmā.

Acu slimības klīnikā reversējošo stimulu VEP rekomendē izmantot:

1. Redzes nerva un tīklenes makulas novērtēšanai;
2. Pielieto bērniem, lai novērtētu redzes asumu un redzes sistēmas attīstību;
3. Kā objektīvu perimetrijas metodi, lai novērtētu hemianopsiju, galvas smadzeņu traumas;
4. Ambliopijas novērtēšanai;
5. Izvērtēt smadzeņu un psihogēnas dabas aklumu;
6. Visos citos gadījumos, kad nav iespējams novērtēt redzes sistēmu pacientiem, kuru uzvedības reakcija neļaut pielietot psihofizikālās metodes, t.i. , maziem bērniem, nerunājošiem cilvēkiem, kurlmēmiem u.c. /4/

Zibšņu VEP ir mazāk jutīgs uz redzes sistēmas bojājumiem, to izmanto, kad „šaha galdiņa” stimulu VEP veikt nav iespējams.

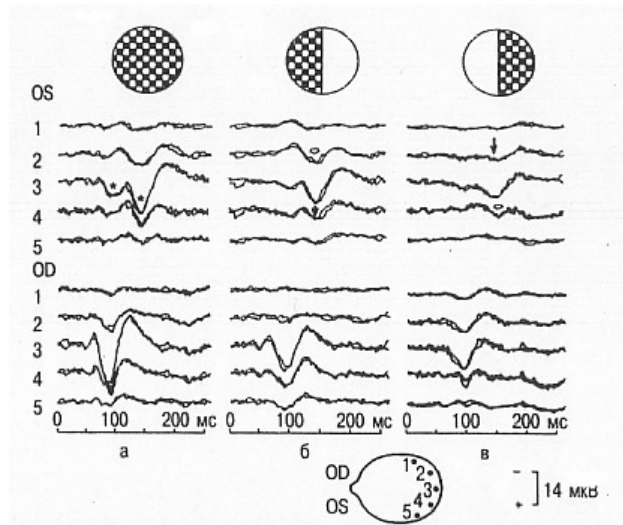
Zibšņu VEP pielietojums:

1. Pie glaukomas, pie iedzimtas vai etioloģiskas redzes nerva atrofijas;
2. Redzes nerva stāvokļa izvērtēšana, ja bijusi tā traumatisks bojājums vai bijusi galvas smadzeņu trauma;
3. Pie toksiskām un išēmiskām optiskām neiropatijām;
4. Ja apduļķotas acs optiskās vides;
5. Ja cilvēkam ir albīnisms;
6. Pie izkaisītas sklerozes un optohiazmas arahnoidīta;
7. Pie dažādiem procesiem hiazmā un redzes traktā, lai novērtētu redzes sistēmu pie redzes garozas traumām;
8. Redzes funkciju novērtēšana, ja cilvēks ir bezsamaņā. /4/

Veicot VEP pierakstus, jābūt uzmanīgiem pie dažādiem noslieces kritērijiem:

1. Ja nav VEP pierakstu atbildes vai ievērojama amplitūdas samazināšanās;
2. Visu latences pīķu palielināšanās;
3. Ievērojami atšķiras labās un kreisās acs latences un amplitūdu pieraksti. /4/

Pie redzes nerva saslimšanām visraksturīgākā pazīme ir pozitīvās komponentes P100 latences palielināšanās. Latences samazinās, ja redzes nerva šķiedras demialinizējas, attiecīgi samazinās impulsu pārvades ātrums, bet latences periods P100 palielinās. Pie redzes nerva optiskā neirīta izmainās VEP komponentu parametri, samazinās amplitūdas, parādās W-veidīga P₁₀₀ forma (4.zīmējums).



4.zīm. W-veidīga P₁₀₀ forma pie redzes nerva neirīta.
 a – visa redzes lauka apgaismošana; b – patoloģiski
 izmainītas VEP līknes. /4/

Pie tīklenes saslimšanām, t.i., makulopātijas un retinopātijas latence palielinās un amplitūda samazinās. Ja ir bojāta tīklenes centrālā daļa, pie maza izmēra stimuliem latence palielinās, savukārt pie tīklenes perifērijas traucējumiem latence palielinās uz liela izmēra stimuliem. VEP amplitūdas samazināšanās uz reversējošiem stimuliem ir novērojama glaukomas pacientiem. /4/

VEP veic arī pacientiem ar migrēnām. Ar redzes izsaukto potenciālu VEP pierakstiem apskatot P100 latences, atklāja, ka bērniem ar migrēnu bija P100 ilgākas latences nekā veselo bērnu grupās. Autori uzskata, ka VEP latenču mērīšana ir ticama metode migrēnas diagnozē, tā var tikt droši izmantota bērniem. /9/

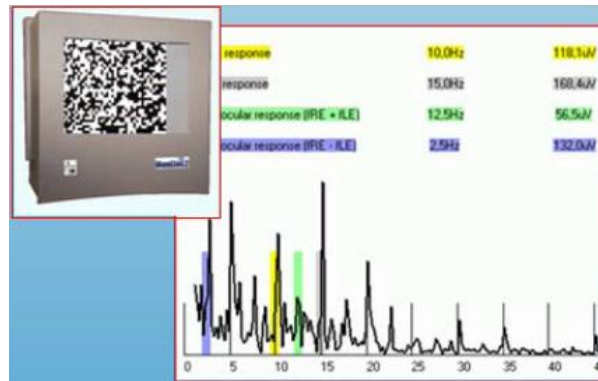
VEP izmanto kā perimetrijas metodi.

Izmanto zibšņa un reversējošo „šaha galdiņa,” stimulu metodes 5.zīmējumā.

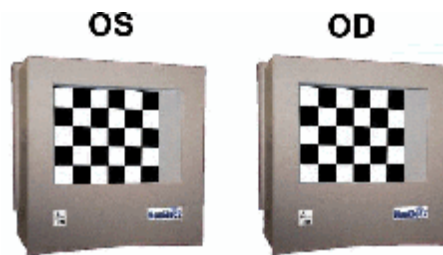


5.zīm. VEP metode redzes lauka
 mērīšanai. /7/

Ar augstas frekvences VEP un binokulāro reversējošo VEP ir iespējams novērtēt binokulārās funkcijas, sensoros fūziju testu. 6.zīmējums un 7.zīmējums.

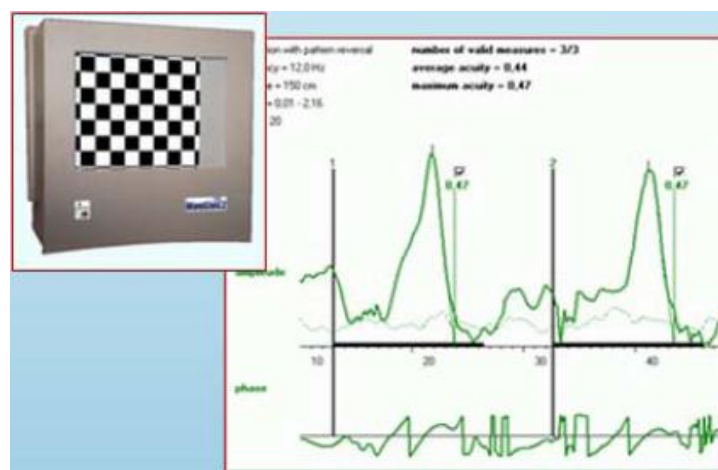


6.zīm. Augstas frekvences VEP stimuli un iegūtās līknes, vērtējot binokulārās atbildes. /7/



7.zīm. Binokulāri reversējošais VEP stimul. /10/

Reversējošo stimulu VEP pielieto, lai novērtētu redzes asumu, izmantojot dažāda lieluma „šaha galdiņa” laukumus, kā parādīts 8.zīmējumā.



8.zīm. Reversējošā VEP stimuli un iegūtās metodes līknes. /10/

1.2.5 ISCEV standarti VEP metodei

9.zīmējumā parādīti standarta stimuli.

	Field size (deg)	Stimulus type	Stimulation	Pattern elemental size		Luminance ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)		Contrast (%)	Presentation rate
				Checks (min)	Bright element	Background	Mean		
Pattern Stimulation – Pre-chiasmal	> 15	Pattern reversal or on-set/offset	Monocular	60, 15	Equal to mean for onset/offset	> 80	> 40	> 75%	< 1.3 reversals or ≤ 2 onsets per second
Flash Stimulation – Pre-chiasmal	> 20	ISCEV standard luminance flash	Monocular		15 30				< 1.5 flashes per second

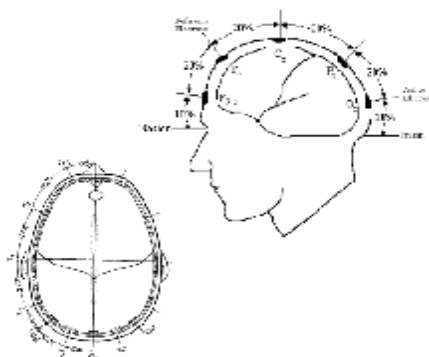
9.zīm. Standarta stimuli VEP./2/

10.zīmējumā parādīti standarta pieraksti.

	Electrode montage (International 10/20 channel system)		Filters (± 3 dB)		Swaps averaged
	Active	Common reference	Low freq.	High freq.	
Pattern Stimulation – Pre-chiasmal	Oz	Fz	<1	>100	≥ 64
Flash stimulation – Pre-chiasmal	Oz	Fz	<1	>100	≥ 64

10.zīm. Standarta pieraksti VEP. /2/

Elektrodu novietojums ir ļoti svarīgs. 11.zīmējumā parādīts standarta elektrodu izvietojums.



11.zīm. Pēc ISCEV standartiem elektrodu novietojums. /2/

Zibšņu un „šaha galdiņa” stimulu VEP vienam pierakstam vajadzētu ilgt 250msec, savukārt *on-set off-set* vienam pierakstam analizē jābūt 500msec. Filtrus izmanto no 1Hz līdz 100Hz. Iekārtai signāls jāpastiprina 20.000 līdz 50.000 reizes. Eksperimenta laikā maksimāli jāpaplašina pacientam zīlītes. Jāiekārto subjekts, tā, lai pēc iespējas mazāk kustētos, bet turklāt justos ērti. VEP latenci un amplitūdas ietekmē arī cilvēka vecums. /2/

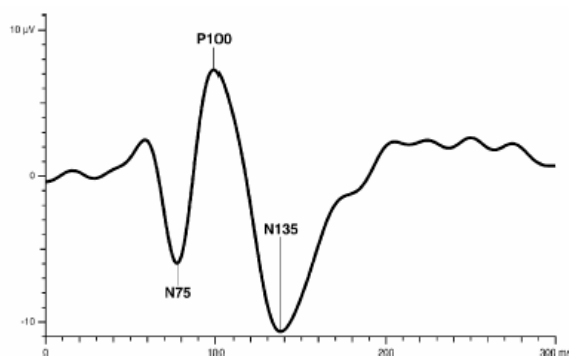
VEP pierakstu reģistrēšanai izmanto 3 metodes:

- Zibšņus;
- Reversējošo stimulu („šaha galdiņa” stimuls, kuram baltie laukumi vietām ar melniem laukumiem);
- *On-set / off-set* stimuli („šaha galdiņa” stimulu nomaina homogēns fons).

12.zīmējumā norāda šaha galdiņa reversējošo – mainošos stimula līkni normālam pacientam.

/2/

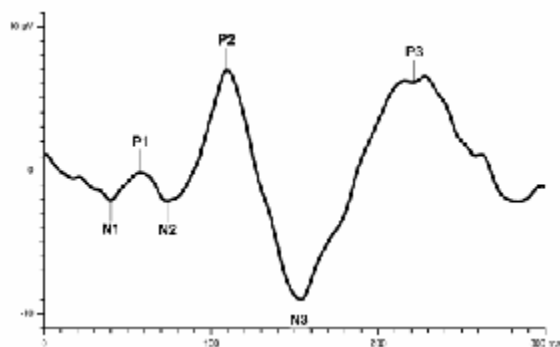
Šaha galdiņa-reversējošais stimuls sastāv no melnbaltiem kvadrātiem vai strīpām, kas mainās vietām, tā lai ekrāna spožums neizmainās. Stimula lielums ir 1° un 15° .



12.zīm. Standarta līkne redzes izsaukto potenciālu pierakstam šaha galdiņa mainīgam stimulam. /2/

13.zīmējumā norāda normālu zibšņu stimula līkni.

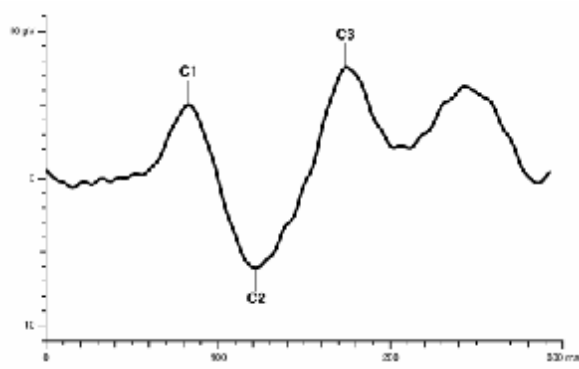
Zibšņu metodē stimuls ir 20° liels un to katru rāda ilgāk kā 5ms, stimula difūzais spožums ir 3 cd/m^2 .



13.zīm. ISCEV standarta līkne zibšņu redzes izsaukto potenciālu pierakstiem. /2/

14.zīmējumā norāda normālu *on-set/off-set* līkni.

On-set/off-set stimuls veidots no strīpām, kuras nomaina homogēns vienmērīgs fons. Stimula izmēri paliek tie paši, kas pie reversējošā stimula.



14.zīm. ISCEV standarta līkne mainīgam *on-set/off-set* stimulam. /2/

Katram stimulam ir sava standarta līkne, jāanalizē latences izmaiņas, amplitūdas izmaiņas, kas var norādīt uz kādu traucējumu. /2/

1.3 Redzes izsaukto potenciālu metožu modifikācijas

Papildus standarta metodēm ir izveidotas dažādas metožu modifikācijas. Kopumā jau ir izveidoti standarti, kuru saslimšanu, patoloģiju vai bojājumus var noteikt ar kādu konkrētu metodi vai tās modifikāciju.

1.3.1 Multifokālais mfVEP

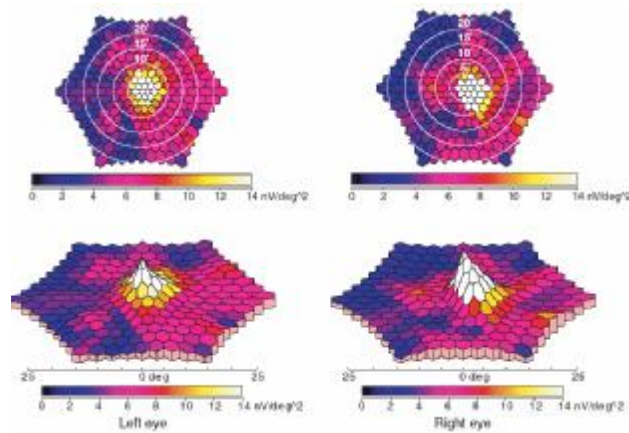
Redzes funkciju un redzes lauka novērtējums ir atkarīgs no subjekta atbildēm, atkarībā no uzmanības, fiksācijas, motivācijas u.c. Dažādās vecuma grupās ir grūti noteikt, vai cilvēks pasaka pareizi vai ir nokļūdījis. Ar multifokālo VEP mfVEP, izmantojot VERIS sistēmu (*Visual Evoked Response Imaging System*), iespējams precīzi iegūt klīniskās atradnes. mfVEP ir noderīgs tieši tad, kad nav iespējams izmantot tradicionālās metodes, vai klīniskās atradnes savstarpēji nesaskan. mfVEP nodrošina objektīvu rezultāti iegūvi, lai precīzi noteiktu diagnozi. Eksperimenta laikā redzes funkciju novērtēšanā svarīgas ir subjekta atbildes. Pārbaudot bērnus un cilvēkus ar psihiskām novirzēm kļūda šajos testos palielinās. Standarta elektroretinogrāfija ERG un redzes izsauktie potenciāli VEP daļēji izslēdz šādas cilvēka atbildes, tās izmanto kā neinvazīvas metodes gan oftalmoloģijā, gan neurooftalmoloģijā. Elektroretinogrāfiju izmanto, lai izpētītu normālas tīklenes fizioloģiju un tālāk novērtētu kādas pierakstu atšķirības pie patoloģijām vai saslimšanām. VEP izmanto, lai nodiagnosticētu redzes ceļu traucējumus, audzējus, atšķirtu pacientus ar psihogēniem redzes traucējumiem un simulantiem. Reversējošo stimulu VEP izmanto, lai objektīvi nodiagnosticētu redzes asumu simulantiem. *Sweep* VEP izmanto, lai noteiktu redzes asumu. VEP metodi izmanto, lai agrīni

noteiktu optiskā neirīta sākšanos. Lai gan standarta elektrotinogrāfijā summē elektriskās tīklenes atbildes, jāpēta noteiktus tīklenes mazus apgabalus un jāapskata redzes lauku ganglionāto šūnu bojājumu gadījumos, piemēram, glaukomā, kad ir kādi lokalizēti apgabali ar pazeminātu vai jau zudušu sensitivitāti, tad izveidoja multifokālo elektrotinogrāfiju mfERG. Pirmais mfVEP tika izveidots kā *VERIS*. Iekārtas atļāva objektīvi novērtēt elektrofizioloģiskās atbildes redzes lauku perifērijā un centrālajā apgabalā mazos apgabalos, izmantojot 4 minūšu vai 8 minūšu ilgu stimulēšanu. Ar mfERG iespējams lokalizēti noteikt tīklenes ganglionāro šūnu bojājumus glaukomas vai diabēta saslimšanās. Iespējams ar izkliedētiem nejaušiem zibšņu stimuliem atšķirt magnocelullāros un parvocelullāros ceļus, mfVEP ir iespēja attēlot lielo šūnu tīklenes saslimšanas. mfVEP izmanto, lai attēlotu optisko neirītu, optiskā redzes nerva bojājumus. mfVEP priekšrocība ir tāda, ka mfVEP var attēlot vairākus, pat sīkus redzes lauka bojājumus, salīdzināt monokulāri iegūtos rezultātus. Izmantojot daudzējādos kanālus, var precīzi izpētīt tīklenes apgabalus, analizēt potenciālu iegūtās asimetrijas, lai diagnosticētu agrīnos glaukomas redzes lauka bojājumus. mfVEP izmanto, lai salīdzinātu foveolas apgabala traucējumus, foveolas deficītu un redzes lauka apgabalus anizotropijas un ezotropijas ambliopijas pacientiem, slimniekus ar redzes lauka zudumus saistībā ar tīklenes artēriju oklūzijām un smadzeņu infarktiem. mfVEP atbilžu atšķirības no elektrotinogrāfijas metodēm ir atkarīgas, ko skārusi slimība, piemēram, optisko nervu, ganglionārās šūnas vai tīklenes perifēriju. mfVEP pielieto, kad savstarpēji nesakrīt klīniskās atradnes, vai pacients nav spējīgs atbildēt

mfVEP atbildes pieraksta, izmantojot zelta elektrodus, ko novieto 2-2.5cm virs pakauša paugura, referentos uz pieres, bet zemes elektrodu novietoto uz auss. Signāls pastiprināts 100.000 reizes. Filtrē signālus robežās no 100Hz līdz 500Hz. Kā stimulē ir krāsaini 61 līdz 37 heksagoni. Vidējā heksagona lielums ir $4 \times 4^\circ$. Heksagoni savstarpēji mainās. /11/

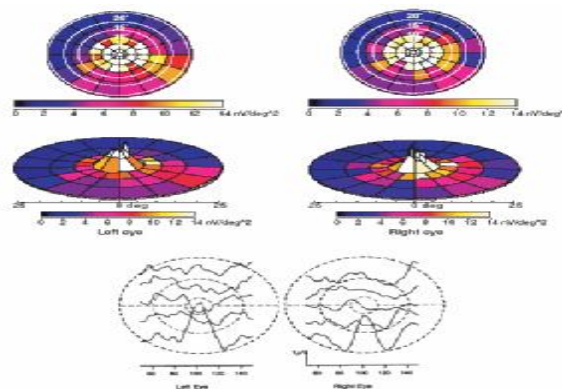
Piemēram, 37 gadus vecam vīrietim bija neskaitāmas galvas traumas iegūtas automašīnas avārijā 18 mēnešus pirms mfVEP pieraksta. Pēc negadījuma viņam bija liela hematoma galvā. Galvas skanēšana norāda uz aizmugurējo un priekšējo galvas smadzeņu daļu kontūzijām. 12 mēnešus pēc avārijas oftalmoloģijas pārbaudē redzes asums labajā acī variē no 6/24 (0.25) līdz 6/38 (0.15) atkarībā no metodes. Ar nelielu refrakcijas korekciju redzes asums kreisajā acī variē no 6/20 (0.3) līdz 6/60 (0.1). Tuvumā redze aprūtināta, krāsu redze vāja. Acs dibeni aprakstīti kā oftalmoloģiski normāli. Datorizētā perimetrija norādīja uz kreisās acs hemianopsiju un labās acs redzes lauka lielu lauka zudumu.

Ar mfVEP ieguva sekojošus datus 15.zīmējumā.



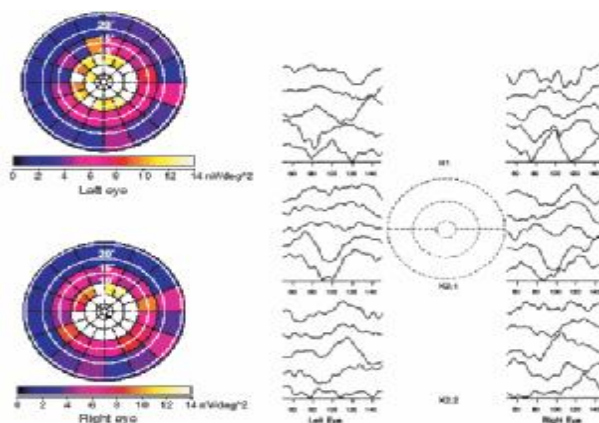
15.zīm. Kreisais attēlos norāda kreisās acs rezultātus, labais attēls norāda uz labās acs rezultātiem. Makulas pīķi norāda uz labās acs atbildes pieaugumu, salīdzinot ar kreiso aci. Redzes lauka amplitūdas ir samazinātas abās acīs. /11/

Otrais piemērs: 73 gadus veca sieviete ar menangiomu optiskās hiazmas rajonā. Šī apgabala nospiešana var ietekmēt kreiso optisko nervu vai kreiso optisko traktu, būtu paredzams, ka attiecīgi būtu redzes lauka defekti, kas un kura lielums būtu atkarīgs no menangiomas atrašanās vietas. Šādi redzes lauka defekti ir sagaidāmi arī mfVEP pierakstos kreisajā acī vai abās. Eksperimenta viena atradne bija normāla stimula kontrastjutības vai mēreni samazināta kataraktas dēļ. Krāsu testi bija normāli, neuzrādīja aizdomas par optiskā nerva saslimšanām. Šim subjektam bija fiziski grūti novērtēt redzes lauka uz divu veidu perimetriem. Katru aci pārbaudīja atsevišķi, labo aci vispirms, pēc tam kreiso aci. Augsta kontrasta zibšņu mfVEP norādīja uz amplitūdas samazināšanos abu acu augšējās redzes laukos, vairāk izteikts kreisās acs redzes laukā. Apakšējā redzes laukā atbildes bija labākas kreisai nekā labai acij. Abas acis norādīja amplitūdas aizkavēšanos attiecīgi par 100msec gaidāmo rezultātu. Augšējais redzes lauka zudums abās acīs atspoguļo spiedienu uz redzes traktu, tā kā abu acu apakšējie redzes lauki norādīja labāku atbildi par augšējiem laukiem, tas norāda uz iespējamo menangiomas atrašanās vietu tuvāk optiskās hiazmas apgabalam 16.zīmējumā.



16.zīm. Sieviete atklāta menangioma hiazmas rajonā. Iegūtas mfVEP līknes. /11/

Trešais piemērs: 41 gadus veca sievietei gada laikā samazinājās centrālās redzes asums no 1.0 līdz 0.4 abās acīs. Datorizētā perimetrija norādīja uz perifēro tīklenes apgabalu atbildes samazinājumu. Acu oftalmoloģiskā apskate neuzrādīja nekādas patoloģijas vai slimības. Elektroretinogrammas bija normālas, izslēdzot autoimūnās retinopātijas, magnētiskā rezonanse neuzrādīja izmaiņas. Fotonu emisijas tomogrāfija norādīja uz bilaterālu redzes lauka smadzenēs samazinājumu. Ar mfVEP apskatīja katru aci atsevišķi. Rezultāti norādīja uz centrālā redzes lauka samazinājumu abās acīs. Makulas apgabalā neuzrādījās gaidāmās P100 atbildes. Šajā gadījumā risinājumu tā arī neieguva, joprojām ir šaubas par īsto diagnozi, kā arī sieviete atteicās no turpmākām izmeklēšanām, viņas iegūtie rezultāti 17.zīmējumā.



17.zīm. mfVEP pieraksti sievietei ar neskaidru cēloni, kā dēļ samazinās centrālais redzes asums. /11/

Tātad mfVEP var izmantot klīnikā, kad klīniskās atradnes ir savstarpēji nesaskan, ir šaubas par diagnozi un ārstēšanu, kad nepieciešami objektīvi dati, izslēdzot cilvēka subjektīvās atbildes. /11/

Pielikumā 2 parādīts vairāku izsaukto potenciālu metožu pierakstu kopīgais savstarpējais salīdzinājums pie dažādām slimībām.

2. Optimālā redzes izsaukto potenciālu atrašana

2.1 Ievads

Redzes asuma noteikšana ir noderīga klīniskajos pētījumos pacientiem ar acu vai neiroloģiskām saslimšanām. To nosaka pacientiem, liekot vērot režģi ar mainīgu kontrastu (sākot ar statistisku kontrastu 100%) un mainot uz mazāku kontrastu, kamēr subjekts nespēj atšķirt. Pieaugušajiem šos mērījumus veic psihofizikāli. Bērniem, mēmiem cilvēkiem, tos nevar veikt psihofizikāli. Vairāki pētnieki pielīdzinājuši redzes izsaukto potenciālu metodi objektīvai metodei, nosakot redzes funkcijas ar kontrasta režģi. Vairums no šīm metodēm

izmanto otrās kārtas harmoniskās stimula kontrasta reversējošās frekvences, lai noteiktu VEP parametrus. Matemātiski pielieto vairākas statistikas apstrādes metodes tādas kā T^2 statistika, T^2_{circ} statistika un Releja Fāzes Kritēriju (*RPC*) tiek pielietotas kā vairākas statistikas metodes, lai veidotu algoritmus. Noteiktajā statistiskās apstrādē metodes ņem vērā vidējo lielumu stiprumus, kas rodas vairāku rezultātu datu variācijām. *Victor* un *Mast* salīdzināja *RPC*, T^2 un T^2_{circ} statistikas un atklāja, ka viņu T^2_{circ} statistika pārspēja citas. Viens trūkums visās šajās statistikas metodēs ir tas, ka tās visas balstās uz otrām kontrasta reversējošo stimulu frekvencēm. Nav iemesla domāt, ka tuvu esošās frekvences ietvers sevī tikai otrās harmonikas, un, ja neuzrādās citas harmonikas, tad noteiktā metodoloģija neatbilst, lai apstrādātu tās. /12/

2.2 Saderīgās filtrēšanas

Jānosaka M -dimensionālo mērījumu signāla vektora x un klāt esošā trokšņa komponentes. Elektrisko potenciālu noteikšanā vektors x parādās no elektroencefalogrāfijas pierakstu eksperimentu signāliem M piemēriem. Ņemot vērā, ka mērījuma modelis tiek veidots kā $x = s + z$, kur x , s un z ir M vektori, kas atbild uz mērījumiem, signāla komponentes un piedevām trokšņa komponente attiecīgi. Kamēr eksistē nelineāras mijiedarbības starp signālu un troksni, šie modeļu pamati ir līdzīgi visiem elektropotenciālu rēķinātajiem algoritmiem. Bieži vien neviens nezina tiešo signāla morfoloģiju. Ja signāla vektors ir zināms $2N$ -dimensionālā plaknē, tad to var izteikt kā

$$s = \sum_{k=1}^{2N} a_k s_k \quad (1)$$

kur s_k ir zināms vektors, bet a_k ir nezināms vektors. Signāla vektors var tikt aprakstīts un noteikts signāla plaknē, definēts kā kolonu telpa

$S = [s_1 s_2 \dots s_{2N}]$. *Scharf* ir aprakstījis *Matched Subspace Filter* (*MSF*) noteikšanu, kur ir $F(2N, M-2N)$ – sadalījums

$$\frac{M-2N}{2N} \frac{x^T P_S x}{x^T (I - P_S) x}, \quad (2)$$

kur $P_S = S(S^T S)^{-1} S^T$ ir projekcijas matrica S diapazonā. *MSF* indikators ir optimāls vienveidīgo visspēcīgāko sajūtu, ja signāla modelis $y = s + z$ atbilst :1. Gausa sadalījuma troksnis z ir nezināms lielums. 2. Signāla vektors s ir zināmā telpā. *MSF* detektors parādās ideāli piemērots, lai VEP pierakstiem noteiktu zemākās amplitūdas, ja pieļauj daudzu harmoniku signālu modeli. Signāla telpu var apskatīt kā vektoru kopumu, kas saistās ar galīgu temporālo stimula frekvenču harmoniju skaitu. /12/

2.3 VEP signālu modeļi

Signāla komponente ir veidota no N vienmērīgām kontrasta reversējošo frekvenču harmonikām. Lai $s_k(n)$ būtu n^{th} ieeja signāla telpā vektors s_k

$$S_k(n) = \cos(2\pi f_k n), k = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$S_k(n) = \sin(2\pi f_k - N^n), k = N + 1, N + 2, \dots, 2N \quad (4)$$

un $f_k = 2k x f_{stim}$, $k = 1, 2, \dots, N$, kur f_{stim} ir kontrasta reversējošā frekvence. Ir zināms, ka noteiktas fāzes, kas veidotas no kontrasta režģa stimulu piemēriem, veido tikai vienmērīgas kontrasta reversējošo frekvenču harmonikas. Mērāmais trokšņa vektors z uzrāda papildus elektroencefalogrāfijas „troksni” un ir pieņemts, ka tam papildus jābūt AR izkliedēts process

noteiktā laika posmā, $z[n] = -\sum_{k=1}^p a_k z[n-k] + u[n]$, kur $u[n]$ ir tīrs Gausa troksnis. /12/

2.4 Filtra veidošana

Auto regresīvs (AR) izkliedes process pēc p kārtības var tikt samazināts ar filtrēšanu, izmantojot FIR filtru $w = (1 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_p)$. Filtrs izriet $w = (1 \ \hat{a}_1 \ \hat{a}_2 \ \dots \ \hat{a}_p)$, kur \hat{a}_k , $k = 1, \dots, p$ ir AR parametru aprēķini. Jāpiezīmē, ka kopumā $w \neq w^*$, kopš w balstās uz autokorelācijas funkcijas piemēriem. w ir objektīvs lielums autokorelācijas metodei, lai atrisinātu Yule-Walker vienādojumus. Ja AR(p) process satur zemo līmeņu sinusoīdas, veidos parametru aprēķinus un rezultējošais filtrs w būs pats optimālākais. Ja slīpums vai nobīde ir pietiekami maza, tad w īpašības ir relatīvi neietekmētas. Ir mēģināts pierādīt, ka zemo līmeņa sinusoīdas klātbūtne veido mazas nobīdes filtrā. Yule-Walker vienādojumi AR parametriem ir izteikti kā $R_{zz}\hat{w} = b$, kur

$$R_{zz} = \begin{bmatrix} r_{zz}[0] & r_{zz}[-1] & \Lambda & r_{zz}[p] \\ r_{zz}[1] & r_{zz}[0] & \Lambda & r_{zz}[p-1] \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ r_{zz}[p] & r_{zz}[p-1] & \Lambda & r_{zz}[0] \end{bmatrix} \quad (5)$$

$b = (1 \ 0 \ \dots \ 0)^T$, $\hat{w} = \beta (1 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_p)$, un $r_{zz}(k)$ ir autokorelācijas funkcija AR procesos. Skalārā konstantā β vērtība tiek noteikta notikumam, kad pirmais b elements ir līdzīgā vērtībā ar $u(n)$ izkliedi. Autokorelācijas aprēķini tiek izmantoti Yule-Walker vienādojumos, kas ir diezgan tuvi patiesai autokorelācijas $r_{zz}(k) \approx r_{zz}(k)$ funkcijai, kas atļauj pārbaudīt tikai sinusveida līkņu slīpumus, nobīdes. Tiklīdz ir sinusveida līknes, R_{zz} ietekmē autokorelācijas matrica

$$R_{ss} = \frac{A^2}{2} \begin{bmatrix} 1 & \cos(2pf_0) & K & \cos(2pf_0 p) \\ \cos(2pf_0) & 1 & K & \cos(2pf_0(p-1)) \\ M & M & O & M \\ \cos(2pf_0 p) & \cos(2pf_0(p-1)) & K & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Yule-Walker vienādojums kļūst $(R_{zz} + R_{ss})(\hat{w} + \delta \hat{w}) = b$, kur lielums $\delta \hat{w} = \beta \delta w$ atspoguļo abus *Yule-Walker* vienādojuma atrisinājumus ar R_{ss} . Lielums δw ir slīpums vai nobīde *Yule-Walker* vienādojumu atrisinājumos, kad pirmais elements b ir aizstāts ar $u(n)$ izkļiedes lielumu. Teoriju lineāro vienādojumu sistēmai izmanto kā nostiprinoša saikne ar δw .

$\|R_{zz}^{-1}\| \|R_{ss}\| < 1$, kur $\|\cdot\|$ ir normāla matrica, tad to parāda kā

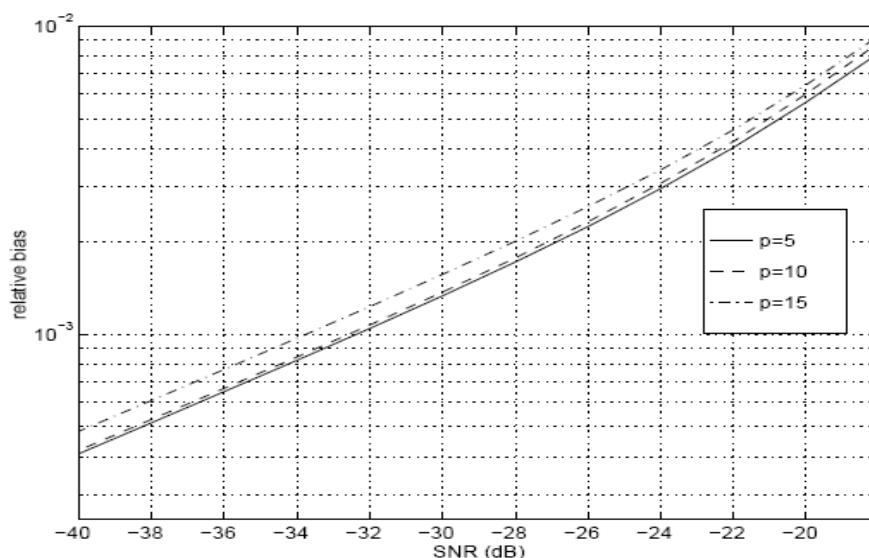
$$\frac{\|dw\|}{\|w\|} \leq \frac{\|R_{zz}^{-1}\| \|R_{ss}\|}{1 - \|R_{zz}^{-1}\| \|R_{ss}\|} \quad (7)$$

Ja $\|R_{zz}^{-1}\| \|R_{ss}\| \ll 1$, kas apmierina zemo SRN, un kopš $\|\delta \hat{w}\| / \|\hat{w}\| = \|\delta w\| / \|w\|$ (7), izriet

$$\frac{\|dw\|}{\|w\|} \leq \|R_{zz}^{-1}\| \|R_{ss}\| \quad (8)$$

Lielums $\|R_{zz}^{-1}\| \|R_{ss}\|$ ir līdzināts, bet nav vienāds ar SRN. Kad sinusveida līknes stiprums ir relatīvi mazs pret $AR(p)$ procesiem, tad relatīvi $\|\delta w\| / \|w\|$ kļūst ļoti mazi.

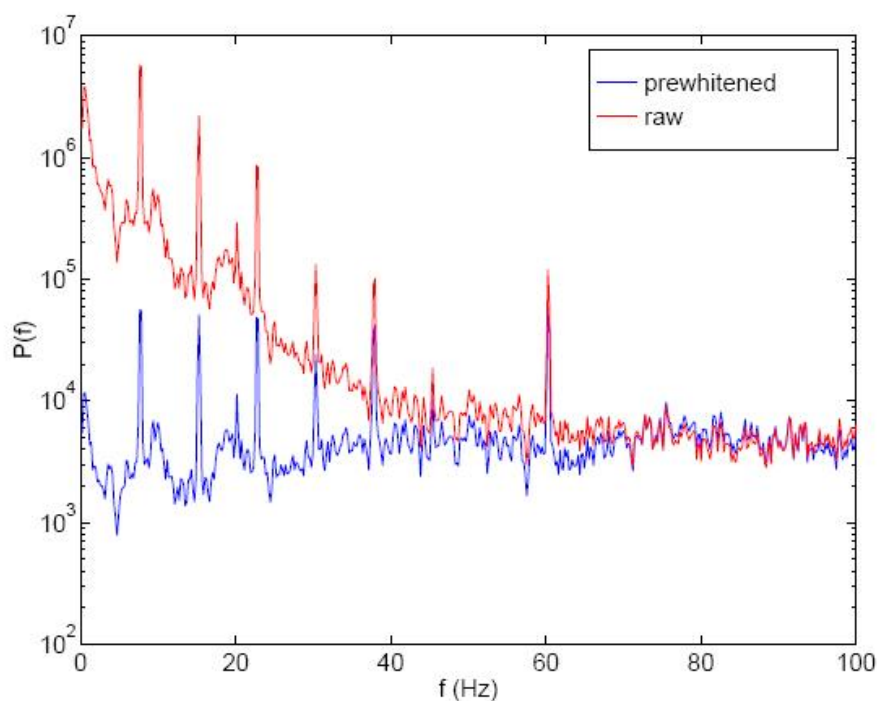
18.zīmējumā norāda palikušo relatīvo nobīdi parametriem, kas rodas no īstiem elektroencefalogrāfijas pierakstiem, pie kam, klāt esot sinusioīdai kā SRN funkcijai vairākiem dažādiem modeļiem.



18.zīm. Nosaka izmantoto SRN no pamata SRN, kas bija no veikta VEP pieraksta, kur telpiskās frekvences variē no 4 cikli/ grāds līdz 28 cikli/grāds. /12/

Relatīvais slīpums vērtē, ievienojot vienu sinusoīdu pie 20.000 punktiem no īstās EEG līknes. Dažādi filtri tika izmantoti pie katriem 25,846 mērījumiem, slīpumu noteica no trokšņu filtra un signāla pozitīvo trokšņu mērījumiem. Vidējā slīpuma vērtība tika aprēķināta no 25 summētiem filtriem. 18.zīmējumā izmantoto SRN noteica no pamata SRN, kas bija no veikta VEP pieraksta, kur telpiskās frekvences variē no 4 cikli/grāds līdz 28 cikli/grāds. Relatīvais slīpums izskatās samērā mazs pie zemiem SRN tipiski sastopoties pie zemiem stimula sliekšņiem.

Stipruma spektrālais blīvums novērtējams pie augstiem SRN VEP signāliem. 19.zīmējumā pirms un pēc AR filtrēšanas.



19.zīm. Attēlota AR filtra efektivitāte, veidojot spektru, saglabājot redzes izsaukto potenciālu harmoniskās svārstības pat pie augsta SRN. /12/

PSD apskatīja ar vidējām 25 periodogrammām, kas iegūtas no 864 punktiem. Visiem 864 mērījumiem noteica savu filtru. 19.zīmējumā attēlo AR filtra efektivitāti. Kamēr signāls ievērojami nepārklāj elektroencefalogrāfijas trokšņus, signāls nesamazinās ar pielikto filtru. /12/

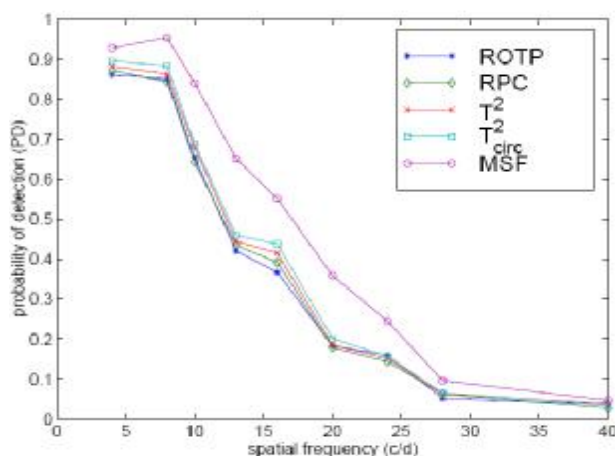
2.5 Izmantotās metodes

Stimuli veidoti melni un balti vertikāli režģi ar kontrastu 92%. Tos rāda monitora ekrānā ar augstu izšķirtspēju (Omnicom, Texan ET, 1280 ar 1024 pikseļiem, 60Hz). Subjekti vēro stimulus 3m attālumā tumšā telpā, skatoties binokulāri. Datora ekrānam rādīja 5,5 loka minūšu lielu apaļu laukums. Datora ekrāna vidū novietots fiksācijas punkts. Ekrāna

luminance ir apmēram 30kandelas/m². Pamata stimuliem izmanto reversēšanas frekvenci (3,75Hz, 7,5Hz). Telpiskās frekvences no 4 līdz 40c/d (4, 8, 10, 13, 16, 20, 24, 28 un 40 c/d) tika skatītas dažādos attālumos un mērījumos. Telpiskās frekvences izvēle katram attālumam un mērījumam tika sajauktas, rādītas dažādās secībās katram subjektam. Eksperimenta sesija sastāv no atsevišķiem 19 mērījumiem, katram sava telpiskā frekvence parādīta divreiz, izņemot 40c/d stimuliem, kas tika parādīts trīs reizes. 40c/d stimulš tika rādīts subjektam kā homogēns lauks. Neviens no subjektiem nevarēja noteikt režģi vai atrast atšķirības starp šiem stimuliem un vienmērīgu homogēnu lauku. Eksperimenta pētnieki atkārtoja vairākus kontroles eksperimentus, lai salīdzinātu VEP pie 40c/d reversējošo režģi ar 92% un 0% kontrastu. Nebija ievērojamas un nosakāmas atšķirības, lai gan stimuli veidoja mērāmu VEP. Elektrodi tiek novietoti 2.5cm virs pakauša un pie pieres referentais elektrods. Zemes elektrods novietots uz ass ļipiņas. Elektroencefalogrāfijas pastiprinātājs (10⁵), analogs filtrs (0,1 līdz 100 Hz). Pētījumā piedalījās 14 brīvprātīgie, visiem subjektiem bija redzes asums > 0.9r. /12/

2.6 Datu analīze

Katra mērījuma fiksētā telpiskā frekvence sastāv no 25 mērījumiem. Katrs no 25 mērījumu vektoriem filtrē ar $p = 15$ kārtas filtru. Katrus nofiltrētos 25 mērījumus apstrādā ar statistiskās analīzes metodēm : RPC, T^2 , T^2_{circ} , ROTP un MSN. Sliexnis, lai noteiktu, ir balstīts uz 5% iespējamu kļūdu atbildēs. ROTP detektoram vajadzētu ģenerēt kļūdas varbūtību 5% un veidot pieņēmumus par trokšņa iespējas blīvumu. P_D varbūtības noteikšanas aprēķini ir vidējoti 14 subjektiem un zīmēti kā grafiks no telpiskās frekvences. Rezultāti parādīti 20.zīmējumā.



20.zīm. P_D varbūtības noteikšanas aprēķini ir vidējoti 14 subjektiem un zīmēti kā grafiks no telpiskās frekvences katram detektoram. /12/

21.zīmējumā attēlots vidējās un standarta novirzes P_D katram detektoram vidēji visiem signāliem virs 40c/d. Kopš 40c/d P_D atbild par kļūdaino atbilžu varbūtību, 20.zīmējumā norādītās kļūdu varbūtības pārējiem detektoriem ir līdzīgas, lai gan ir zem teorētiskām kļūdu varbūtībām 5%. /12/

Detector	Mean P_D	P_D Standard Deviation
ROTP	3.55	2.70
RPC	2.69	2.70
T^2	3.85	3.32
T_{circ}^2	3.49	2.78
MSF	4.67	2.35

21.zīm. Vidējās un standarta novirzes katram detektoram. /12/

3. VEP un binokulārā redze

3.1 Redzes izsauktie potenciāli

Neironiem ir tendence uzbudināties sinhroni. Kā arī vairākas šūnu grupas uzbudinās pie dažādām frekvencēm. Šūnu grupas atbild un raksturo atbildi uz kādu stimulu. Šo šūnu izsauktos potenciālus iespējams reģistrēt, veicot cilvēkam izsaukto potenciālu reģistrēšanu uz galvas virsmas, neiejaucoties organismā. Elektriskie lauki, ko ģenerē redzes garoza ir zināmi kā redzes izsauktie potenciāli. Piramīdveida šūnas ir galvenais VEP pieraksta avots. Viens elektrods uz galvas reģistrē aktivitāti no tūkstošiem piramīdšūnām.

Sinhronās aktivitātes viļņi ir alfa viļņi, kam frekvence ir starp 8 un 13Hz nomodā esošiem cilvēkiem, delta viļņi starp 0,4 līdz 4Hz, kas veidojas guļošam cilvēkam, un beta viļņi starp 14 un 30Hz, kas veidojas, kad cilvēkam tiek dots kāds uzmanības uzdevums.

Eksperimentā ir svarīgs pierakstu signālu pastiprinājums, elektrodu novietojums, veicamais uzdevums subjektam, kā arī citi VEP pierakstam svarīgi nosacījumi. Mērījumu laikā svarīgi ir novērst apkārt esošos un iekārtas trokšņus. Mērījumu pieraksti nozīmē novērot iegūtās pierakstu oscilācijas. Jāmeklē atšķirības katra cikla atbildēs periodiskam stimulam un visām atbildēm kopumā. Standartā signāla vidējošanas metode ir viena no nervu impulsu atbilžu apstrādes variācijām. Epizodiskas aktivitātes veido stimuli, kas nav ierobežoti laikā un tos var apstrādāt ar standarta spektrālo analīzi.

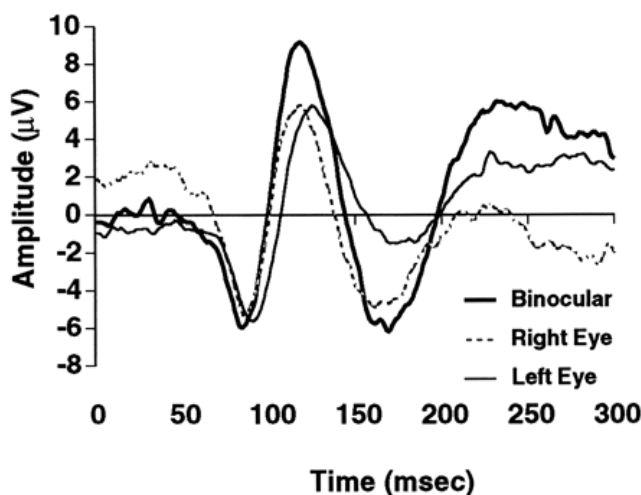
Otrs pieraksta veids ir novērot atbildes dažādos galvas apgabalos, bet uz vienu un to pašu stimulu.

Papildus izmanto metodes, kas apskatītu un salīdzinātu veidojošos pieraksta amplitūdas un latences. Ir vairāki viedokļi, kā analizēt šos pierakstus. Piemēram, *Harter (1973)* ziņoja, ka vienīgi vēlinās redzes izsaukto potenciālu komponentes (200-250ms) atspoguļo binokulāro

šūnu aktivāciju, atzīmējot par abu acu kopredzes lielāko ieguldījumu pierakstos, nekā monokulārajās atbildēs. Citi autori atrod pierādījumus par binokulāro summāciju (100-160ms) (Regan un Spekreijse 1970). Rezultāti vēl ir atkarīgi no elektrodu novietojuma, stimula kontrasta, stimula telpiskajiem un temporālajiem lielumiem.

Binokulāri izsauktās redzes smadzeņu aktivitātes VEP pierakstos binokulārās atbildes ir lielākas nekā monokulārajos pierakstos. /13/

Binokulārie VEP pieraksti uzrāda samazinātas amplitūdu vērtības pacientiem ar Dauna slimību, salīdzinot ar normāliem subjektiem. Kā arī savstarpēji samazināti arī monokulārie pieraksti pacientiem ar Dauna slimību. /14/ 22.zīmējumā. parādīts amplitūdu un latenču salīdzinājums monokulārajiem un binokulārajiem pierakstiem.



22.zīm. "Šaha galdiņa" 15` stimula VEP pieraksti pacientam ar Dauna slimību. P100 amplitūda ir lielāka binokulārajiem salīdzinot ar monokulārajiem pierakstiem. /14/

VEP pielieto, lai atklātu binokulāro mehānismu divas īpašības – summāciju un supresiju, kā arī papildus stereopsi. /15/.

3.2 VEP un binokulārā summācija

Binokulārās summācijas un supresijas pētījumos, izmantojot VEP metodi, vispirms veic divas pamata salīdzināšanas. Pirmā ir VEP pieraksts, kad tiek pierakstītas katras acs monokulārās stimulēšanas atbildes, salīdzinot binokulāro pierakstiem. Otrā ir atbilžu salīdzināšana, kad abas acis saņem vienādu informāciju, bet abu acu stimuli nav korelēti. Ideja balstās uz to, ka noris tikai atbilstošu stimulu summācija. Rezultāti tiek izmantoti, lai paskaidrotu sekojošus parametrus.

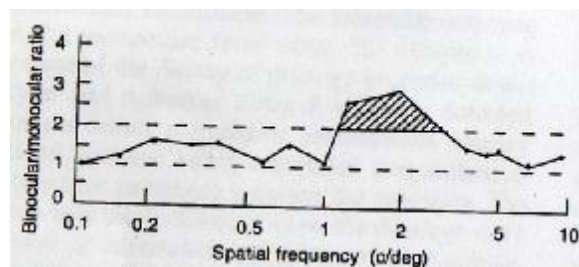
Summācija. Binokulārais VEP, kas ir vienkārša monokulāro atbilžu summa, var ievērojami norādīt uz to, ka redzes stimuli tiek apstrādāti ar neatkarīgiem mehānismiem redzes garozā.

Bet tas var norādīt arī uz to, ka abu acu iegūtā informācija tiek summēta lineāri binokulārajās šūnās. Ja summācija ir daļēja, tas norāda, ka saskaitās tikai daļa no ieejošās informācijas mazāk, nekā pilnā summācija. Binokulārās atbildes, kas sakrīt ar vidējo monokulāro summāciju, norāda par binokulāro konkurenci, kur vienas acs ieejošā informācija tiek supresēta no otras acs, kad abas acis ir atvērtas. To var izsecināt no binokulārajām šūnām, kas vidējo abu acu ieejošo informāciju.

Inhibīcija. Binokulārās atbildes, kas ir mazākas par monokulāro atbilžu vidējām vērtībām norāda par spēcīgu abpusēju inhibīciju starp kreisās un labās acs ieejošām informācijām. Tas varētu notikt pie binokulārās konkurences, kad spēcīgs vienas acs stimul tiek supresēts ar otras acs vājāku stimulu.

Neatbilstība. Tās acs, kuras monokulārās atbildes ir spēcīgākas nekā no otras acs, norāda par vājāku ieejošo informāciju vai signālu vienai acij vai vienas acs supresiju pret otru aci. Šis nosacījums veidojas pie anizotropijas un šķielēšanas.

Binokulārā sekmēšana. Binokulārās atbildes, kas ir lielākas par monokulāro atbilžu summu, norāda par binokulārās mijiedarbības sekmēšanu. Par binokulāro sekmēšanu ir veikti daudzi pētījumi pieaugušiem cilvēkiem ar VEP iekārtām. *Apkarian* (1981) veica pierakstus normāliem pieaugušiem subjektiem. Viņiem kā stimulu rādīja vertikālu režģi ar dažādām telpiskām frekvencēm uz datora ekrāna. Rezultātā binokulāro atbildes sākumu fiksēja pie 30Hz VEP amplitūdām 23.zīmējumā.



23.zīm. Binokulārās un monokulārās stimulēšanas pieraksti. /15/

Šiem subjektiem binokulārā sekmēšana ir parādīta pie 2cikli/grāds telpiskajām frekvencēm. Binokulārās pirmās atbildes pie augstāka kontrasta. Telpisko frekvenču diapazons variē binokulārā sekmēšanā katram subjektam individuāli.

VEP amplitūdas ir lielākas binokulārajiem nekā monokulārajiem pierakstiem (*Trick* un *Compton* 1982). Efekts ir mazāks novērojams augstākām temporālajām frekvencēm reversējošam stimulam. Tas nozīmē, ka atšķirības tīklenes apgaismojumā apduļķojuma dēļ acīs var novest pie VEP rezultātu nepareizas vai neprecīzas izskaidrošanas.

“Šaha galdiņa” stimulu VEP pierakstos binokulārie pieraksti uzrāda spēcīgākas amplitūdas, salīdzinot ar monokulārajiem VEP pierakstiem. /16/

Binokulārās sekmēšanas atkarība no telpiskajām un temporālajām stimula īpašībām iespējams izskaidro plašās binokulārās sekmēšanas variācijas, kas aprakstītas agrākos pētījumos (*Cigānek 1970; Haret 1973; Srebro 1978*).

Iespējams salīdzināt binokulārās un monokulārās VEP atbildes. Viens risinājums ir pierakstīt redzes izsauktos potenciālus, kamēr stimulš tiek mainīts savās īpašībās, šo pirmo reizi veica *Regan (1973)*. Izsaukto potenciālu amplitūdas tika pierakstītas novērojot, kā lēcas refrakcijas stipruma izmaiņas ietekmē, ja tiek mainītas astigmātisma asis. Otrajā pētījumā VEP tika pierakstīts, kamēr „šaha galdiņa” kvadrāti tika optiski palielināti, spožums tika atstāts konstants (*Regan 1977*).

Norcia un Tyler (1985) pierakstīja VEP no telpiskās un temporālās frekvences režģa stimula, kas mainās noteiktos lielumos. Šī metode tiek pierakstīta galvenokārt bērniem, kamēr viņiem nav iespējams veikt psihofizikālās metodes.

Kad vertikālais režģis tiek rādīts vienai acij, bet horizontālais režģis otrai acij, novērotājs izjūt binokulāro konkurenci. Uzskata, ka binokulārā konkurence veidojas sakarā ar abu acu iegūtās informācijas nepārtrauktu salīdzināšanu. Ja tas tā ir, tad šo salīdzināšanu jāredz VEP pierakstos. /15/ VEP amplitūda pieaug, tiklīdz pieaug disparitāte. /17/ Kā arī iespējams atrast dažādas stereo VEP atbildes pie dažādām disparitātem, piemēram, salīdzinot stimulus ar 7 loka minūšu disparitāti un 24,5 loka minūšu disparitāti. /18/

Nepareiza akomodācija veicina VEP samazināšanos, samazinātais VEP pieraksts no supresētiem attēliem var būt atkarīgs no tā, ka supresētai acij tiek nomākta akomodācija. *Apkarian (1981)* atklāja, ka binokulārās konkurences pierādījums VEP pierakstos parādās, kad vienai acij rāda vertikālu režģi un otrai acij rāda horizontālu režģi. VEP pierakstos uzrādās nulles summācija. VEP tika pierakstīts subjektiem, rādot uz datora ekrāna dinamiskus izkliedētos punktus, kas alternē starp korelēto un nekorelēto stimulu (reversējošs kontrasts). Atbildes nesamazinājās, kad uz ekrāna izvietoja korelētus un nekorelētus vienādus sarkanos un zaļos punktus (*Livingstone 1996b*). /15/

Citi autori raksta, ka subjektiem ar traucētu stereo redzi, binokulārās VEP summācijas nav izteiktas. Šīs atradnes nozīmē, ka binokulārā VEP summācija ir atkarīga no binokulāro smadzeņu neironu aktivitātes. Nozīmīgi tas, ka bērniem uzrāda lielākas binokulārās amplitūdas, bet monokulārās amplitūdas ir līdzīgas pieaugušo cilvēku VEP amplitūdām gan cilvēkiem ar stereo redzi, gan ar traucētu stereo redzi. /19/

Monokulārie neironi atrodas tuvākajā V1 smadzeņu apgabalā.

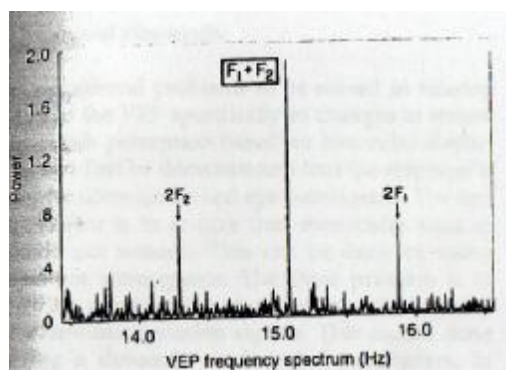
Katsumi (1986) izpētīja, ka optiski veidotie anizeikonijas efekti binokulārajā summācijā tiek novērota VEP pierakstos. Stimulš bija šaha galdiņa lauciņi ar reversēšanas frekvenci 12Hz.

Kad šaha lauciņa zīmējums bija vienā acī lielāks par 5% nekā otrā acī, nebija lielas atšķirības VEP pierakstos starp monokulāro un binokulāro summāciju.

Vēl viens veids, kā pētīt VEP atbildes, ir ar dishoptiskiem stimuliem. Pieņemot, ka labā acs redz sinusveida flikeri F_1 un kreisā acs redz sinusveida flikeri F_2 . Nelineārs process veido F_1 labā acs kanāla harmonikas un F_2 kreisās acs harmonikas.

Regan un *Regan* (1988, 1989) piedāvāja izveidot matemātisko analīzi šiem procesiem un parādīja, ka nelineārie procesi, kas noris pirms vai pēc binokulārās konverģences var tikt izolēti. Viņi atzīmēja, ka šī procedūra atļauj izpētīt binokulārās funkcijas arī, ja redzes asums ir zems vienā vai pat abās acīs.

24.zīmējums parāda (F_1+F_2) komponentes, kas pierakstītas un apstrādātas ar Furjē analīzi.



24.zīm. Sinusveida F_1 un sinusveida F_2 komponentes Furjē apstrāde. /15/

(F_1+F_2) komponente ir vāja subjektiem bez stereoredzes. Normālie subjekti parāda nelineāras atbildes uz dishoptisku flikeri sākot no 2 mēnešu vecuma. Tas parāda, ka binokulārās šūnas summē signālus no abām acīm.

Elektrofizioloģiskie pieraksti no vienas redzes garozas šūnas parāda vairākas binokulārās mijiedarbības, ieskaitot sekmēšanu un inhibīciju. (*Crawford* un *Cool* 1970). *Anzai* (1995) mērīja kaķa smadzeņu redzes garozas vienas binokulārās šūnas atbildes uz tādām funkcijām kā kontrastu, telpisko frekvenci, orientāciju uz sinusveida režģa izmaiņām. Viņi pielietoja signāla noteikšanas analīzi, lai atšķirtu monokulārās un binokulārās funkcijas katrai šūnai. Viņi secināja, ka kontrasta sliekšnis ir sasniegts tikai tad, kad šūnas sasniedz savu kritisko līmeni. Kontrastjutības funkcija ir atkarīga no šūnu skaita un šūnu jutības uz katru telpisko frekvenci. *Anzai* secināja, ka binokulārā summācija veidojas pateicoties tam, ka binokulārās šūnas ir vairāk jutīgas nekā monokulārās šūnas.

Citas binokulārās summācijas izpausmes ir lielākas amplitūdas redzes izsauktie potenciālu pierastos uz režģa kustību vienā virzienā vienai acij un pretējā virzienā otrai acij, salīdzinoši ar režģa kustību abās acīs vienā virzienā.

/15/

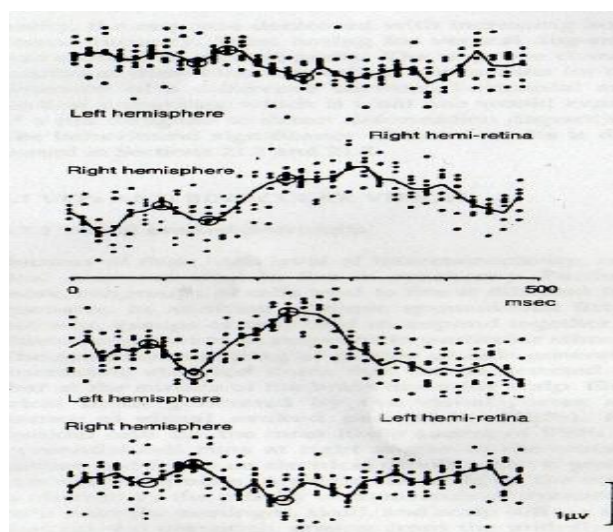
3.3 VEP un stereopse

Ir vairākas problēmas, kas jārisina attiecībā uz VEP izmaiņām sakarā ar stereoskopiska attēla dziļuma izmaiņām, kas ir balstīta uz binokulāro disparitāti. Vispirms jāpierāda, ka atbildes nav radušās acu kustību rezultātā. Otrā problēma ir nodrošināt, ka monokulārās atbildes netraucē dziļuma uztverei. Tas var tikt veikts, izmantojot izkliedēto punktu stereogrammas. Trešā problēma ir, kā izmainīt stereogrammas dziļumu, neizsaucot nevēlamās acu kustības. Šo var realizēt, izmantojot dinamiskās izkliedēto punktu stereogrammas. Visbeidzot, jānodrošina, ka izmaiņas VEP līknēs tiek radītas ar uztvertām attēla dziļuma izmaiņām, nevis abu acu uztverto dažādo punktu savstarpējo korelēšanu. Šo var veikt, mainot stereogrammās disparitātes starp vienādām un pretējām disparitātēm. Otrs kontroles veids ir salīdzināt VEP līknes, kas iegūtas ar izkliedēto punktu stereogrammām pie dažādiem dziļumiem, jo ir izmaiņas pie horizontālo disparitāšu izsauktiem signāliem un līdzīgām mainītām vertikālām disparitātēm.

Fiorentini un Maffei (1970) atklāja, ka periodiski reversējošie dishoptiskie vertikālie režģi rada ievērojami lielākas VEP atbildes nekā režģu izmaiņas dažādās telpiskajās frekvencēs. Kad dishoptiskais režģis parādījās uz noteiktiem redzes lauka apgabaliem, telpisko frekvenču atšķirības neietekmēja VEP pierakstu.

Regan un Spekreijse (1970) noteica VEP subjektiem ar statistiski izkliedēto punktu stereogrammām, kurās centrālā kvadrāta horizontālā disparitāte mainījās starp nulli un 10, 20 vai 40loka minūtēm. Katru pussekundi centrālais kvadrāts parādījās kā izbīdīts pirms plaknes un tad parādās atkal vienā plaknē līdz ar ekrānu. Pozitīvas VEP atbildes parādījās apmēram 60ms pēc katra dziļuma izmaiņām, kam tālāk sekoja negatīvas atbildes. Monokulārā stimulēšana radīja vispārējas kustības uz izmaiņām mazāk nekā 20loka min un asociāciju ar monokulāro VEP. Šis pats stimuluss veidoja lielāku VEP amplitūdu, kad apskatīja to dishoptiski. Ekvivalentas vertikālās disparitātes izmaiņas rada mazāku VEP amplitūdu. /20/

Dinamiskajās izkliedēto punktu stereogrammās, ko ieteica *Lehmann un Julezs* (1977) punkti mainās vairākas reizes sekundē. Viņi izmantoja stereogrammas, kurās taisnstūra laukums parādījās pirms plaknes un tad atkal vienā plaknē katru pussekundi. VEP tika pierakstīts katrai galvas puslodei atsevišķi. Katras dziļuma izmaiņas tika novērotas ar VEP metodi labajā smadzeņu puslodē, ja ir zināms, ka uz labās tīklenes daļas projicējas daļa kreisā redzes lauka, kas nonāk labajā smadzeņu puslodē. Tika konstatētas arī nelielas simetriskas atbildes kreisajā smadzeņu puslodē 25.zīmējumā.



25.zīm. Labās un kreisās smadzeņu puslodes pierasti, attiecīgas labās tīklenes daļas un kreisās tīklenes daļas projekcijas. /20/

Un arī otrādi, ja norobežo labo redzes lauku, tad aktivitāte būs novērojama kreisajā puslodē. Viņi argumentēja, ka abas puslodes veido stereopsi pēc vienādas līdzības. Ja tiek bojāta kāda puslode, tad tiek bojāta arī stereopse.

Manning (1992) atklāja, ka disparitātes sliekšnis dziļuma noteikšanai dinamiskajā izkliedēto punktu stereogrammās bija zemāks labajā nekā kreisajā redzes laukā un ka VEP pierakstos lielākas amplitūdas bija, kad stereogrammu rādīja labajā redzes laukā. *Skrandies* (1997) arī noteica lielāku VEP amplitūdu, kad dinamiskās izkliedēto punktu stereogrammas tika rādītas vairāk labajā nevis kreisajā redzes laukā un tāpat kā *Lehmann* un *Julezs* neatrada atšķirības VEP pierakstos abās smadzeņu puslodēs.

Latences redzes izsuktajiem potenciāliem ar dinamiski izkliedēto punktu stereogrammām, bija līdzīgas redzes izsuktajiem potenciāliem, kurus izsauc kontrasta reversējoši „šaha galdiņa” stimuli. Telpiskās frekvences redzes izsuktajiem potenciāliem var atšķirties no divu veidu stimuliem, iespējams tāpēc, ka tie noris dažādos smadzeņu garozas apgabalos.

Stereoredze ir spēcīgs efekts augstākajos redzes garozas slāņos (*Fenelon* 1986). Izsauktie potenciāli attiecībā uz stereopsi ir apskatāmi no dinamisko izkļiedes punktu stereogrammām, ja stimulē 8° no centrālā redzes lauka. /20/

Ja salīdzina iegūto VEP amplitūdu rezultātus, ir autori, kas veicot mērījumus ar „šķidro kristālu” brillēm, stimulējot vienu aci ar 10Hz, bet otru aci ar 15Hz, skatoties uz izkliedēto punktu stereogrammām, min, ka atbildes uz stereogrammu VEP nav nosakāms visiem subjektiem un nav stabils stereo ieguldījums. Veikti mērījumi arī uz zīdaiņiem sākot no 5 mēnešu vecuma, bet saskārās ar problēmu, ka bērniem šo testu grūti veikt, jo traucē bērnu pārmērīgs kustīgums un acu kustības. /21, 22/

3.4 Dinamisko izklienēto punktu stereogrammas

Tās tiek izveidotas kā izklienēto punktu stereogrammas, kas savstarpēji alternē sekojošos etapos: abās acīs esot ar vienādu pozīciju (+1 disparitāte), abās acīs nekorelētās pozīcijās (nulles disparitāte) un abās acīs tādā pašā pozīcijā, bet ar pretējām luminances polaritātēm (-1 disparitāte). Daudz vairāk VEP tiek ierosināts ar dinamiskām izklienēto punktu koreloграмmām. Izsauktie potenciāli dinamiski izklienēto punktu koreloграмmās atspoguļojas kā atkārtotošos stimulu īpatnības. *Julezs* (1980) salīdzināja VEP amplitūdas starp dinamiski izklienētām punktu koreloграмmām un dinamiski izklienētām punktu stereogrammām, kurās mainās „šaha galdiņa” laukumi. Tie kustās pirms un aiz datora ekrāna plaknes. Abi pieraksti uzrādīja VEP rezultātus ar latenci pie 250ms, salīdzinot, kad viena acs bija aizklāta. Lai gan atbildes amplitūda uz izklienēto punktu koreloграмmām bija spēcīgākas.

Julezs secināja, ka vislielākā atbilde uz stereogrammām ir balstīta uz dziļuma parādīšanos kā pretēju punktu korelācijas izmaiņām. Šīs izmaiņas notika tikai subjektiem ar funkcionālo stereopsi. Autors uzskata, ka šie cilvēki ir vislabākie pētāmie šādos eksperimentos. Vēl nav skaidrs, vai vergēncu acu kustības ietekmē vai neietekmē šīs atbildes, nav arī iespēja kontrolēt vertikālās disparitātes. Binokulārajā atvieglošanā un veicināšanā, kas ir saistīta ar stereopsi balstītu uz horizontālo disparitāti, nevajadzētu veidoties ar horizontālajiem režģiem. *Apkarian* (1981) atklāja, ka binokulārās atbildes uz horizontāliem režģiem bija kā monokulāro atbilžu summācija, kamēr vertikālās disparitātēs uzrādīja lielāku veicināšanu.

Norcia izmantoja dinamiskās izklienēto punktu stereogrammas, kas mainās starp krustoto disparitāti un vienādu nekrušoto disparitāti, kamēr subjekts konverģē uz statisku objektu vai punktu. VEP amplitūda pieauga kā lineāra funkcija amplitūdām virs 15mV. Virs šīs amplitūdas atbilde vispirms pazeminājās un tad pieauga līdz otrajam pīķim binokulārajā disparitātē pie 70loka min. Pie lielākām disparitāšu maiņām VEP pierakstos iegūtām atbildēm bija mazāka latence, bet lielāka amplitūda, nekā VEP atbildēm uz mazām disparitātēm.

Gulas un *Roland* (1994) izmantoja pozitronu emisijas tomogrāfiju, lai noteiktu smadzeņu apgabalus, kas rada smadzeņu aktivitātes, subjektam skatoties uz izklienēto punktu saturošiem foniem. Pieres, pakauša un deniņu apgabali atbildēja specifiski uz disparitāti, turklāt bez smadzeņu apgabalu asimetrijas.

Kwee (1999) izmantoja funkcionālo magnētisko rezonanses attēlu veidošanu 8 cilvēkiem, novērojot viņu smadzeņu aktivitāti, skatoties divdimensionālās un trīsdimensionālās bildes. Vienam subjektam atbildes tika reģistrētas pakauša daivā, trijiem tika reģistrētas atbildes

priekšējos smadzeņu apgabalos, četriem subjektiem bija bilaterāla aktivācija noteiktā smadzeņu apgabalā.

Backus (2001) izmantoja funkcionālās magnētiskās rezonanses attēlu veidošanas metodi, lai izmeklētu redzes garozas V1 apgabalu un citus ar redzi saistītos smadzeņu apgabalus saistībā ar binokulāro disaritāti. Minimālās un maksimālās disaritātes, kas rada efektus, tika atrastas psihofizikāli. V1 apgabala aktivitāte pieauga, kad disaritāte pieauga virs dziļuma izšķiršanas robežas. Attiecība starp psihofizikāliem un psiholoģiskiem mērījumiem tika precīzi noteikta V3A apgabalā. /23/

4. Furjē analīzes pielietojums redzes izsauktos potenciālos

4.1 Ievads

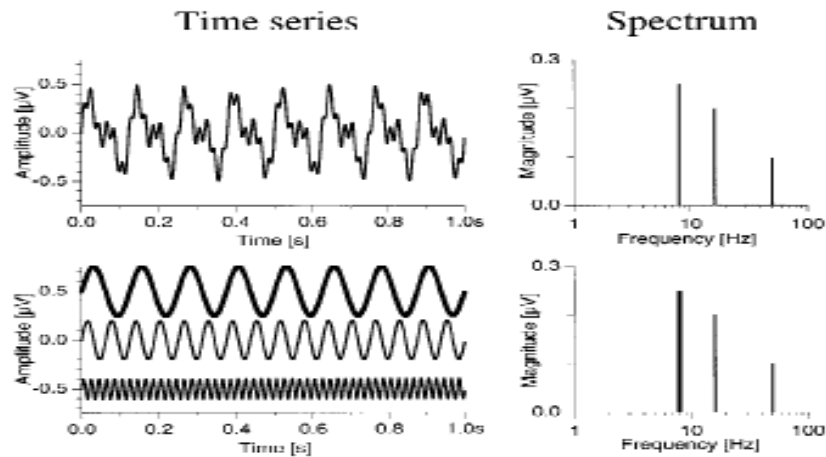
Furjē analīze ir ļoti noderīga un daudz pielietojama analīzes metode redzes izsaukto potenciālu iegūto rezultātu analīzē, kā, piemēram, flikera elektoretinogrāfija, VEP u.c.. Neskatoties uz to, ir aprakstīti vairāki teorētiski aspekti diskrētai Furjē Transformācijai (DFT), ko ir nepieciešams pielietot un aprakstīt reālo eksperimentu piemēros. /24, 25/ Ir gadījumi, kad to izmanto neefektīvi. Teorētiskie pieņēmumi (cikliskā analīzes intervāla pamatīpašības) diskrētajā Furjē transformācijā (DFT) nav nepieciešami būt pilnībā pierakstīti elektrofizioloģiskos pierakstos, kas var novest pie kļūdainiem rezultātiem. Vēl jo vairāk, daudzas datora programmas pievieno nevēlamas operācijas („*windowing*” datu pielīdzināšana), pilnībā neapstrādā papildus informāciju, kam jābūt elektrofizioloģiskos pierakstos. /25/ Furjē analīzes analītiskās iespējas nav pilnībā izmantotas elektrofizioloģisko pierakstu datora programmās. ISCEV standartos analizējot un pierakstot pilna lauka zibšņa elektoretinogrāfijā nav minētas Furjē transformācijas kā iespēja, lai izolētu 30 Hz zibšņa jeb flikera atbildes. *Pattern* elektoretinogrāfijas pamatos dažkārt piemin Furjē analīzi kā iegūto rezultātu skaidrojumu. Iespējamie artefakti un problēmas, kas rodas, kad šie norādījumi netiek ņemti vērā. Objektīvi ir parādīt uz piemēriem, kā ar Furjē analīzi var skaidrot elektrofizioloģiskos pierakstus. /25/

4.2. Furjē analīzes nozīme

4.2.1 Mērķis

Šajā nodaļā aprakstīta Furjē analīze, tās pielietojums un kļūdas. Var izveidot stimulus, ko var aprakstīt ar noteiktu frekvenci. Analīzes intervālu izdala vairākas reizes laika gaitā. Furjē

teorēmas nosaka, ka katra funkcija laikā galīgā intervālā var tikt izteikta ar „frekvences apgabalū”, t.i., sinusveida funkciju summa ar pareizu amplitūdu un fāzi. Informācija laika apgabalā un frekvences apgabalā ir identiska, tad kāpēc jāpārveido vieni dati par otriem? Tas tāpēc, ka viena veida informācija ir vairāk pieejama frekvences apgabalā, it īpaši elektrofizioloģijas pierakstos, tas ir parādīts 26.zīmējumā.



26.zīm. Furjē analīze un sintēze. Augšējā daļā rāda ir iregulāras viļņu frontes ar lēnām un ātrām oscilācijām. Apakšējā daļā ir trīs sinusveida viļņu frontes, kas apvienotas visas trīs kopā veido augšējo vilni. Zemākā frekvence veidota no precīzi 8 periodiem pieraksta intervālā (= analīzes intervālā) 1s garumā. Korespondējošā līkne (pa labi) ir izvietota pie 8 Hz. Spektrs turpmāk atklājas pie otrās frekvences ar 16 Hz un trešās 50 Hz komponentes, kas var labi izrietēt no nefizioloģiskiem avotiem kā pamata interferences (60 Hz ASV). Šie grafiki parāda Furjē analīzi, kad to apskata no augšas uz leju. Figūras parāda Furjē sintēzi, kad to apskatās pretējās secībās: 3 vienkāršas sinusveida viļņu frontes (apakšējā pa kreisi) kā piemēri veido labāku kompleksu viļņu fronti (lejā pa kreisi) sakarā ar dažādo pīķu un ieliekumu superpozīcijas. /25/

Kas ir īpašs klīniskajā elektrofizioloģijā? Stimuli ir periodiski, var kontrolēt un mainīt to frekvenci un absolūto fāzi. [9] Vienādojums parāda diskrētās Furjē analīzes jeb sintēzes formulu, kas tiek veidota no zemāk aprakstītiem efektiem. /24/

$$a_k = \frac{2}{nT} \sum_{t=0}^{n-1} f(t) \cos\left(t \frac{k}{n} 2\pi\right), \quad b_k = \frac{2}{nT} \sum_{t=0}^{n-1} f(t) \sin\left(t \frac{k}{n} 2\pi\right)$$

$$f(t) \approx \frac{a_0}{2} + a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + a_3 \cos(3\omega t) + \dots \\ + b_1 \sin(\omega t) + b_2 \sin(2\omega t) + b_3 \sin(3\omega t) + \dots$$

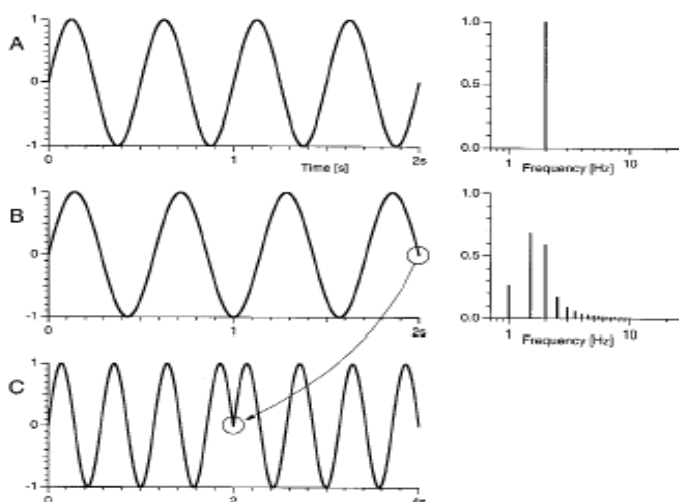
$$f(t) \approx c_0 + c_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + c_2 \cos(2\omega t - \varphi_2) + \dots \quad [9]$$

Kamēr pieraksta atbildes ātriem stimuliem, ir vairāki parametri, kurus nevar kontrolēt. Ir zināmas stimulēšanas frekvences. Ir iespējams izvēlēties pieraksta ilgumu un analīzes intervālus. Tas nozīmē, ka var pielietot Furjē tehnikas, lai pilnīgi pierakstītu rezultātus, pieļaujot īsāku analīzes intervālu. Faktiski rezultāti ir tie, ka iespējams izvēlēties analīzes intervālu, kas ietver precīzus veselu skaitļu stimulu periodu (piemēram, 8 reversēšanas/s

stimulam var izvēlēties 1.125s analīzes intervālu, kas sastāv no 9 atbildēm). Ļoti bieži izmanto datora ekrānus, lai parādītu dodos stimulus. Tad ir iespējams izmantot stimulēšanas frekvences, kas ir kā veseli skaitļi dalīti atkarībā no monitora frekvences. Zinot precīzi stimulēšanas frekvenci, iespējams pielietot šauru precizētu augstas pakāpes trokšņa atņemšanas frekvenci. /25/

4.2.2 Analīzes intervāls

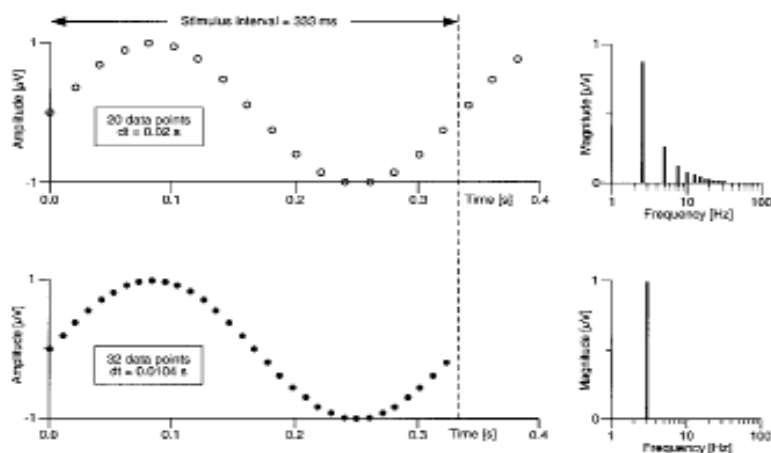
Pamata pieņēmums Furjē analīzē – izmanto analīzes intervālam vienu ciklu no periodiski atkārtojošiem laika periodiem. Tādējādi var iegūt tikai frekvences ar veselu ciklu skaitu. Frekvences, kurām periods ir garāks par analīzes intervālu, tiek pārsauktas un parādās kā „slīpums”. 27. zīmējumā parādīts, kā 2 Hz sinusoīda (ar 4 amplitūdām 2 sekunžu intervālā) parādīsies tīrā spektrā ar vienu līniju pie 2 Hz. Ja frekvence ir zemāka un tikai parādīsies 1.75 Hz periodā, tad Furjē analīze atradīs daudz papildus liekās frekvences un pīķi būs aptuveni tuvi īstajai frekvencei. Šo efektu sauc par pārmērīgu daudzumu jeb „overspill”. /25/



27.zīm. Pārmērīgs daudzums – „overspill”. Augšējā daļa rāda 2 Hz sinusoīdu 2 s intervālā (pa kreisi) un tās „tīrā” vienas līnijas spektrs pa labi. Zemāk ir 1.75 Hz sinusoīda 2 s analīzes intervālā. Kopš tai ir nepāra skaits ciklu, šo frekvenci nevar parādīt ar Furjē analīzi, novedot pie pārmērīgi daudz lielumiem pa labi. Augstu frekvenču parādīšanās var tikt intuitīvi saprotama, kad Furjē analīze pieprasa analīzes intervāliem būt periodiskiem. /25/

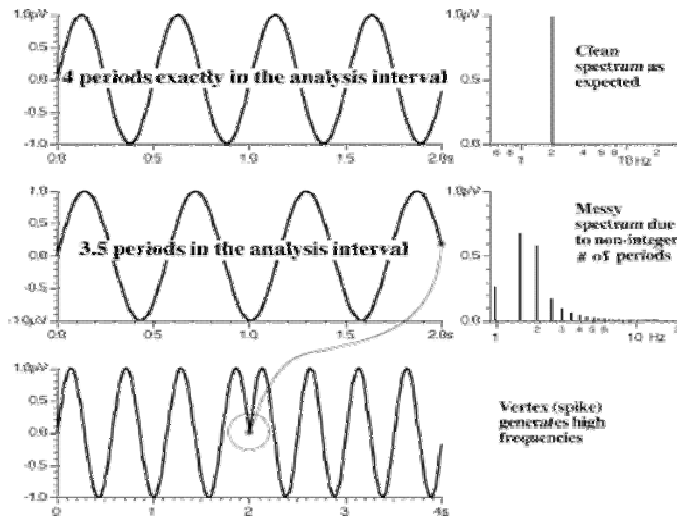
Daudz augstas un zemas frekvences jāapvieno Furjē analīzē. Tā kā ir zināmas precīzas stimula frekvences elektrofizioloģiskos pierakstos, var izvairīties no šiem artefaktiem un izvēlēties analīzes intervālu tādu, lai tajā nodrošinātu precīzi veselu skaitu ciklu skaitu. /25/

Kā analizēja vecākus rezultātus, kad netika vēl izdomāta Furjē analīze? 28. zīmējums norāda atbildes pierakstu uz 3Hz stimulu ar frekvenci 50 Hz. Analīzes intervāls 0.4 sekundes sastāv no 20 datu punktiem.



28.zīm. Augšējais kreisais grafiks pārkāpj divus diskrētās Furjē analīzes pieprasījumus. Stimula periods ir 333ms. Šis skaitlis nedalās bez atlikuma ar pāra skaitli, analīzes intervāls nesastāv no periodisku stimulu pāra skaitiem. Furjē spektrs parāda lielu daudzumu artefaktu (pa labi). Apakšējā daļā rādīts, ka pat šajos sarežģītajos pierakstos Furjē analīze uzrāda spektru bez pārlieku daudzām kļūdām. Metode ir iestarpināt īsto viļņu fronti ar vēlreiz veiktu mērījumu. Mērķis ir, lai otrā viļņu fronte satur precīzi vienu stimulu periodu pie 333ms un 32 datu punktiem. Tad, piemēra, frekvence sekundes laikā būs $333\text{ms}/32 = 10.4\text{ms}$ (zīmējuma 3 apakšējā daļā). Kad katrs 32 datu punkts sasniedz oriģinālās viļņu frontes interpolētās vērtības, korespondējošais Furjē spektrs sastāv tikai no vienas komponentes pie 3 Hz (zīmējumā 3 apakšā pa labi). /25/

Ja stimula periods ir 333ms, šis skaitlis nedalās bez atlikuma ar pāra skaitli, tātad analīzes intervālā nebūs pāra skaits stimulu periodu. Rezultātā spektrs parāda daudzus artefaktus. /25/ Pārmērīgs daudzums jeb „overspill” 29.zīmējums. /24/

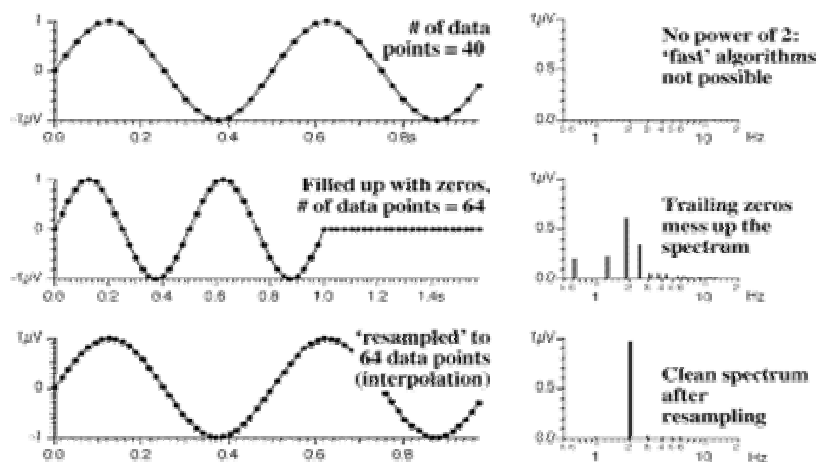


29.zīm. Parādīts augšējā līknē pilns ciklu skaits, vidējā līknē parādīts nepilnu ciklu skaits. Zemākajā līknē parādīti divi nepilni atkārtotošies ciklu skaits, kas ir izveidoti no otrās līknes. Tātad Furjē analīze pieļauj periodisku progresiju ārpus analīzes intervāliem, rezultējošais lielums veido kļūdainas augstās frekvences (vidējais un apakšējais grafiks). /24/

Ja analīzes intervāls ietver sevī tieši veselu skaitu stimulu periodus (šeit 4), tad tiks noteikta precīza frekvence. Ja ir nepāra skaita stimulu periodu (šeit 3,5), tad pārklāšanās notiks blakus esošajās frekvencēs. Furjē analīze pieļauj periodisku progresiju ārpus analīzes intervāliem, rezultējošais lielums ģenerē kļūdainas augstās frekvences (vidējais un apakšējais grafiks). Tā kā var zināt precīzi stimula frekvenci, tad var izvairīties no artefaktiem. /24/

Eksperimentālie parametri galvenokārt nosaka datu punktus vienā reversēšanas laikā. /2/ Tie iekļauj sevī atlasītas izšķiršanas, stimula frekvences un stimulu skaitu uz vienu mērījumu. /3/ Tas bieži vien noved pie patvaļīgiem skaitļiem (t.i. 40, 200), nav nepieciešami pāra skaitļi (t.i. 64, 128, 256). /24/

Tas veido haosu ar periodisku datu spektru 30.zīmējumā. Vienkāršs risinājums ir pārsaukt datu punktus ar vairāk kā divciparu skaitļu interpolāciju. To var veikt ar lineāru vai nelineāru interpolāciju. /24/



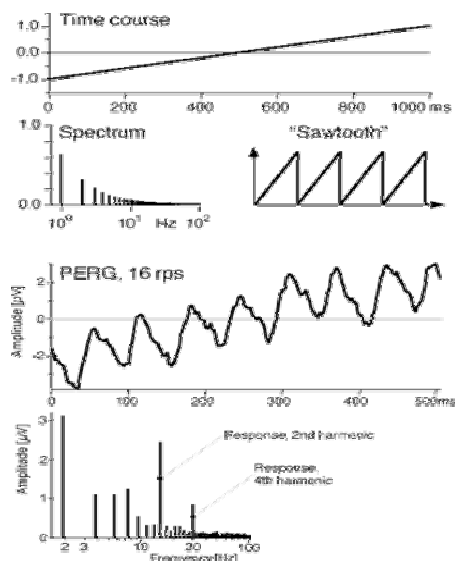
30.zīm. Līkne A norāda sinusoīdu ar 40 parauga piemēriem. Daudz FFT algoritmi pieprasa divciparu skaitļu nozīmīgumu, t.i., 64, 128, 256, ... Kad pieprasījums ir izpildīts, pievienojot nulles vērtības (līkne B), spektrs tiek veidots no daudziem neīstiem signāliem (līknes B labā daļa) neklikšķa pagarinājuma dēļ. Labāka pieeja ir iestarpināt līkni. Kā nākamais divu skaitļu lielums (šeit 64) tiek sasniegts, izveidotie vienas-līknes spektrālie rezultāti (līknes C labā daļa)./24/

30.zīmējumā parādīts, kā ģenerē ļoti maz viltoto vai neīsto frekvenču skaitu tā, ka to var neievērot saistībā ar citiem trokšņa avotiem. Tipiski flikera ERG, PERG vai VEP datu maiņā ir mazāk kā 1000 datu kopumi, tā skaitliskai integrācijai, lai izrēķinātu Furjē koeficientu, nepieciešamas tikai dažas milisekundes katram noteiktam aprēķinam. Lai izrēķinātu pilnu spektru, kalkulācijas laiks nav precīzi nosakāms. /24/

Lai iegūtu daudz labāku izšķiršanu vēlreiz ir jāpārbauda un jāveic mērījumus: datu punktu skaits pieaug līdz nākamajiem divciparu datu punktiem ar interpolāciju (30C zīmējums). /25/

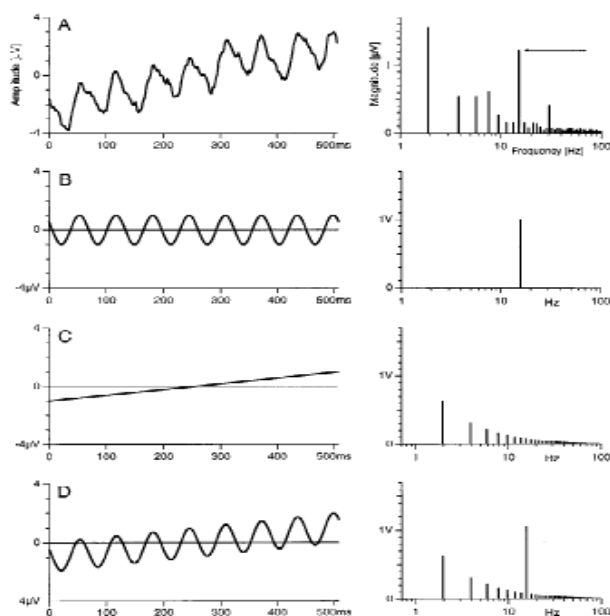
4.2.3 Līkņu slīpums un virziens

Bieži vien pieraksti norāda uz līknes virzienu un slīpumu. Lēns virziens uz augšu vai lēns virziens uz leju mainās no frekvences, stimuliem u.c. To izraisa elektrodu slīdēšana vai citi faktori: acu mirkšķināšana, kas rada ievērojamu signāla pārtraukumu vidējotā datu maiņa tiks novienādota tiklīdz, kamēr pastiprinātājā uzrādīsies konstants ātrums 31.zīmējumā. /24/



31.zīm. Vidējās vērtības, bet pamata līkne virzās līdz nulles vērtībai, tā veidojot slīpumu./24/

Fenomeni, kas ir līdzīgs „pārmērīgam daudzumam” līdzinās „slīpuma artefaktiem”. Kā redzams 32A zīmējumā, tas bieži ir nomērojams *pattern* elektroretinogrāfijā.



32.zīm. „Slīpuma artefakti”. Grafiks A parāda tipisku PERG pierakstu, kur atbildes (8 pīķi) pārklājas pie pieaugošā slīpuma. Grafiki B, C, D parāda simulēšanu ar izdomātiem datiem. Lai gan troksnis (slīpums) un atbildes (16 Hz sinusoīda) ir vienāda lieluma, pa labi rādītajos spektros spēcīgi artefakti parāda tikai 10% lielu kļūdu uz atbildes palielinājumu. /25/

Arī no acu mirkšķināšana rada artefaktus: acumirklīga acu aizvēršana izraisa lielu novirzi amplitūdā (šajā gadījumā negatīvu), pārsniedzot vidējās artefaktu amplitūdu vērtības. Noteiktā, specifiskā laika punktā signālu uzņem vēlreiz ar artefaktu atteikumu, kamēr

eksponenciālais samazinājums joprojām veido savu slīpumu. Šis slīpums pastiprinās atbildes, maza daļa no eksponenciālā slīpuma novērojama 32.A zīmējuma lineārajā slīpumā. /25/

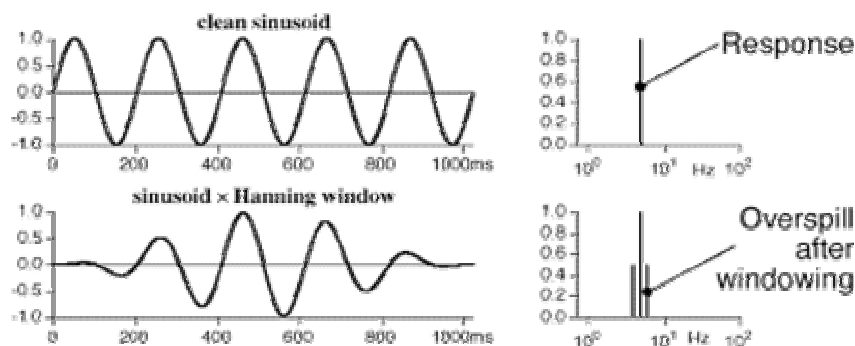
Abām pieraksta komponentēm ir sava kopija spektrā: kamēr redzama 16Hz atbilde (kopā ar 32 Hz harmonikām), papildus ir arī zemās frekvences, kas aptuveni parāda tipisko mērījumu spektru. Atkārtoti jāpiemin Furjē analīze, ko pielieto viena cikla intervāla analīzē periodiski atkārtojošām viļņu frontēm. Kad tik daudz slīpumu tiek apvienoti, tie izskatās kā secīgi sakārtoti pīķi, ko savādāk sauc par „zāģa zobiem”. Šis noteiktas spektrs ir daudz aprakstīts, tas satur daudzas harmonikas ar sistemātiski samazinošām amplitūdām (32.C zīmējums). Vājo sinusveida atbildi (32.B zīmējums) pievieno klāt 32.C zīmējuma slīpumam, parādot „slīpuma artefaktus”. 32.D zīmējuma spektrs izskatās kā 32.A zīmējuma un 32.B zīmējuma summa. /25/

Tiklīdz acu kustības un mirkšķināšanas artefaktus nav iespējams pilnībā izslēgt no klīniskiem pierakstiem, ieteicams ir izmantot vairākkārtējus stimula ciklu pieraktus (≥ 4). Tas atdala harmonikas ievērojami no vēlamā rezultāta tā, ka rezultējošās kļūdas kļūst pieņemamas.

Cita iespēja samazināt slīpuma artefaktus ir pielietot Furjē analīzi. Kad pieļauj kādu noteiktu slīpumu, analīzes intervāls sastāv no veselu skaitļu stimulu cikliem, tad atšķirība starp pirmo un pēdējo pierakstu ļauj vidēji prognozēt un noteikt slīpumu. Atņemot šo slīpumu, līknes artefakti ir ievērojami samazināti. Noteikta problēma ir tāda, ka troksnis 50 Hz arī rada papildus artefaktus. To labāk ir filtrēt pirmajā Furjē analīzē pirms slīpuma atņemšanas. Lai gan šī procedūra ir diezgan sarežģīta ikdienas analīzē, tā atļauj analizēt „patoloģiskos rezultātus” kur redzami gan slīpuma artefakti, gan lieli trokšņi. /25/

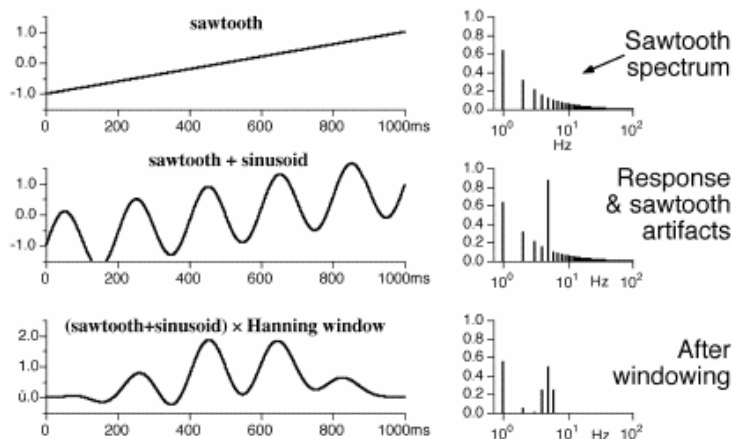
4.2.4 Apstrādes metode

Nav nepieciešams samazināt vai ierobežot apskatāmo apgabalu ar īpašu apstrādes metodi jeb „*windowing*” 33.zīmējumā. /24/



33.zīm. Apstrādes metode, kur izmanto Hanninga apstrādi jeb „*windowing*”. /24/

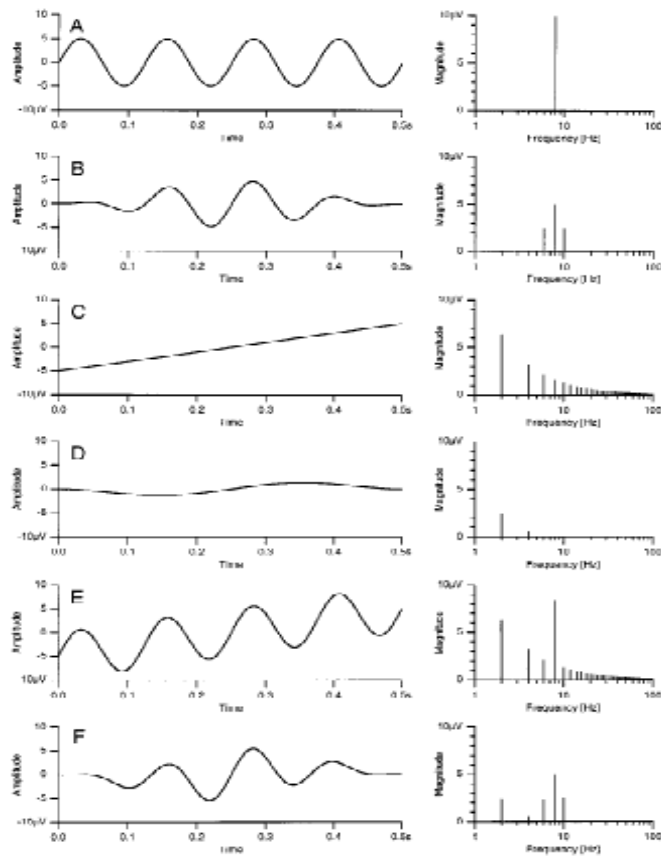
Tam ir liela nozīme, jo tas samazina *overspill* ietekmi līdz nepāra skaita atbildēm noteiktā analīzes intervālā, tas arī samazina līknes slīpuma artefaktus. 34. zīmējums parāda, kā *windowing* ietekmē samazina spektru. Jāatzīmē tikai, ka līnija pie 1Hz paliek. Vēl jo vairāk, jaunās līnijas veidotas blakus atbildei. /24/



34.zīm. Augšējā grafikā attēlotas pareizi veidota sinusoīda ar korespondējošo vienu līniju pie spektra. Pēc datu apstrādes apakšējā grafikā blakus esošās līnijas nolīdzinās. /24/

Windowing galvenokārt nozīmē, ka pārklāj blakus esošo atbildes frekvenci. Tas ir skaidri parādāms 34. zīmējumā: augšējā grafikā attēlotas pareizi veidota sinusoīda ar korespondējošo vienu līniju pie spektra. Pēc *windowing* apakšējā grafikā blakus esošās līnijas nolīdzinās. Tas ir nenovēršams signāla modulācijas secinājums pie šāda veida signālu apstrādes. /24/

Praktiski tas nozīmē, ka signāls (35.A zīmējums) ir reizināts pāri visam analīzes intervālam ar funkciju, kas sākas ar nulli, sasniedzot (vai pirms intervāla vidus punkta) vērtību 1.0, tad atkal samazinot līdz nullei intervāla beigās. Rezultāti uzrādīti 35.B zīmējumā. Šīs funkcijas izvēle ir vairāk māksla kā zinātne, šo metodi izmantoja *Hanning*. /25/



35.zīm. „Windowing”. A: kad dati ir analizēti bez „windowing” funkcijas, parādās „tīra” sinusveida spektrālā līnija. B: Kad datu kopums ir apstrādāts ar *Hanning* apstrādi (*window*), amplitūda samazinās līdz nulles vērtībai pie sākuma un pie stimula rādīšanas beigām. Tāds modulēts signāls ir paplašināts spektrs (grafika B labā daļa). Šī funkcija ir noderīga, kad parādās spēcīgi slīpuma artefakti (C-F), lai gan ar zināmām signāla frekvencēm šī joprojām nav izvēles metode. /25/

Kad „windowing” funkcija ir noderīga:

1. Tai ir liela nozīme pie vienkāršiem īslaicīgiem pierakstiem. Redzes elektrofizioloģijas pētījumu laikā tā ir rezultatīva elektoretinogrāfija oscilējošo potenciālu analīzē.
2. Kad pieraksts sastāv no nezināmām frekvencēm.
3. Slīpuma artefaktu samazinājums. Tam ir liela nozīme, jo tas samazina slīpuma artefaktu ietekmi (35.C, D, E, F zīmējums).

Šī apstrāde nav nozīmīga sinusveida pierakstu analīzē, 35. zīmējumā līnijas spektrā blakus 8 Hz atbildēm veidojas un parādās no parādības pēc *windowing*, kad sinusveida vilnis nav garāks par kontrasta amplitūdu, vai vēl ir ar pazeminātu frekvenci. Klīniskajā elektrofizioloģijā stimula frekvence ir precīzi zināma. Tad šeit iesaka neveikt *windowing* operāciju, jo tā ievieš papildus artefaktus, samazina paliekošo amplitūdu pie atbildes frekvences. /25/

4.2.5 Stimulu skaits

Stimulu periodu liels skaits analīzes intervālā atļauj atpazīt „slīpuma artefaktus”, kas var veidoties no atbildes uz mirkšķināšanu un elektrodu nobīdēm. Ja atbildes frekvenci ir augsta, salīdzinot ar zemāko iespējamo frekvenci, tad atbilde nebūs ievērojami ietekmēta ar svārstīgām harmonikām. Ja ir tikai viens atbildes periods uz vienu parauga intervālu, visi zemo frekvenču trokšņi ietilps atbildes frekvencē. Pieaugot stimula rādīšanas ilgumam, ir divas priekšrocības:

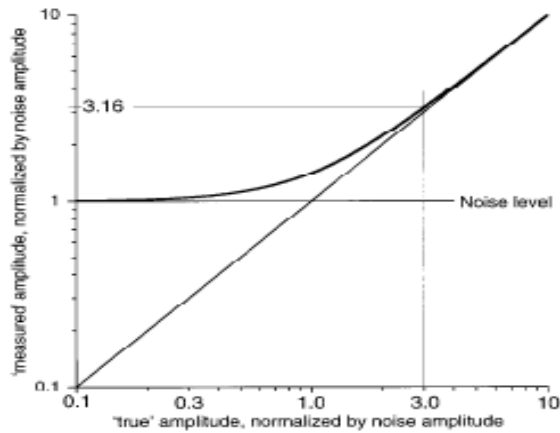
Atbilde ir pieaugoši atšķirta no daudziem artefaktiem, pieaug frekvences izšķiršana.

Ilgam stimula rādīšanas laikam ir viens liels trūkums: iespējams zaudēt daudz vērtīgā pierakstītā materiāla un laika, pamatojoties uz mirkšķināšanas artefaktiem. Kā kompromiss starp vidējo mērījumu skaitu un mērījumu rādīšanas ilgumu un frekvenci, autori iesaka uzņemt 8 atbildes vienā rādīšanas laikā. /24/

4.2.6 Signāla un trokšņa attiecība

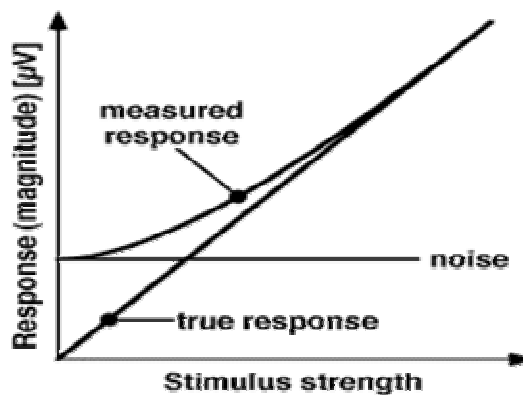
Lai gan daudzas metodes ir pieejamas, diemžēl daži pētījumi, kā pielietot redzes izsaukto potenciālu līknes, ir ierobežoti, pētot signāla – trokšņa (SRN) attiecību. Tehnika ir ar lielu jaudu t_{circ} pielietojumu, kas pieprasa nevidējos datu kopumus. Daudzsološu jaunu pieeju ieteica *Sieving*, ko nosauca par cikls-pēc-cikla Furjē analīze „*cycle-by-cycle Fourier analysis*”. Ir veikti aprēķini ar statistikas metodi, kur SRN ir definēts kā stimula frekvences palielinājums virs blakus esošu frekvenču vidējotā palielinājuma. Šo ieguva : SRN = 2 korespondē pie $p = 0.12$; SRN = 2.8 1 pie $p = 0.05$, SRN = 3 korespondē pie $p = 0.04$, inversiem jeb apgrieztiem pierakstiem, p – vērtība no 0.01 pieprasa SRN ≥ 4.84 ; p no 0.001 pieprasa SRN ≥ 8.55 . Tā kā frekvences izšķiršanu var uzlabot un pilnveidot ar analīzes intervāla palielināšanu, ir izdevīgi, kad analīzes intervāls sastāv no 10 vai vairāk stimula cikliem. Tad divas blakus esošas frekvences ir tuvu pietiekamas, lai derētu kā ticams trokšņa novērtējums stimula frekvencei. /25/

Troksnis un patiesā atbilde (pārsvārā frekvences palielinājums) nepieaug lineāri. Tas nozīmē, ka mazas amplitūdas būs pārsvārā kā troksnis. Lai gan, ja amplitūda ir aprēķināta trīs reizes lielāka kā troksnis (5.3%, skatīt 36.zīmējumu: aprēķinātā amplitūda ir 3.16 pret īsto amplitūdu no 3.0), un atbilde ir nozīmīga pie 5% līmeņa. /25/



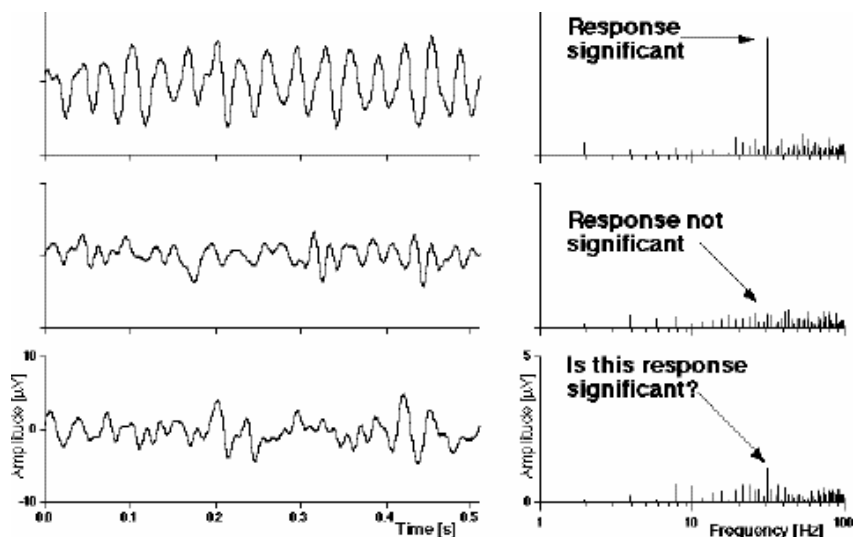
36.zīm. Troksnis un Atbilde. Ordināta norāda īsto amplitūdu, kas ir normalizēta ar trokšņa amplitūdu. Ordināta veido spektrālo palielinājumu, kas ir izrēķināts no spektra. Tas nevar būt mazāks kā troksnis, bet ātri sasniedz svarīgo amplitūdu ar pieaugošo signāls-pret-troksni amplitūdu. Kad atbilde ir trīs reizes lielāka par troksni, parādās 5% kļūda spektrālā aprēķinā. /25/

Troksnis un īstās atbildes nepieaug lineāri. Mazās amplitūdas pārsvarā būs tikai trokšņi. Bet, ja palielinājums ir 3 reizes salīdzinājumā pret troksni, tad grafikos nebūs troksnis 37. zīmējums. /24/



37.zīm. Stimula atbilde un atbildes palielinājums. /24/

Signāls pret troksni attiecība SRN var tikt izteikta ar T_{circ} statistiku (Victor un Mast 1991), vai arī salīdzinot atbildes frekvences ar vidējām blakus esošām frekvencēm (Meigen un Bach 1999). Kad pienācīgi ir izmeklēts analīzes intervāls, tuvākās blakus frekvences nesastāv no kādām atbildēm noteiktajās atbildes frekvencēs. 38.zīmējumā parādītas dažāda signāla dažādas atbildes piemēri.



38.zīm. Parāda dažādus atbildes piemērus. /25/

Daudzi pētnieki viena mērījuma cikla ilgumu nosaka, lai tajā ietilptu precīzi viens stimulu cikls. Raksta autori iesaka izveidot šo mērīšanas ilgumu noderīgi tā, lai izmanto pēc iespējas vairāk stimulu periodu skaitu noteiktā analīzes intervālā, kas atļauj atpazīt „virziena artefaktus”, kas var veidoties no mirkšķināšanas atbildes vai elektrodu nobīdes. Lineārs slīpums ģenerē „zobveida” spektru. Ja atbildes frekvence ir augsta, salīdzinot ar zemāko iespējamo frekvenci, atbildi ievērojami neietekmēs „zobveida” harmonikas. Ja ir tikai viens stimula periods novērojamā intervālā, zemo frekvenču trokšņi papildus ietilps un veidos atbildes frekvenci. Ieteicams izmantot, lai stimulu periodu skaits analīzes intervālā ir vairāk par 10. /25/

4.2.7 Secinājumi

Diskrētā Furjē Analīze (DFT) var labi uzlabot rezultātu analīzi. Ir daudz priekšzināšanu par izsaukto potenciālu signāliem, tādā gadījumā:

1. Jāizvēlas pāra stimulu skaits vienā rādīšanas reizē,
2. Izmantot brīvprātīgi izvēlētos punktu skaitus stimula rādīšanas reizē, iestarpinot FFT;
3. Izvēlēties veselu skaitļu attiecības starp stimula periodiem un rādīšanas frekvenci;
4. Izvairīties no *windowing* datu apstrādes;
5. Noteikt precīzi atbildes no slīpuma artefaktiem;
6. Izmantot aprēķinātos trokšņus;
7. Aprēķināt atbilžu nozīmīgumu;
8. Izteikt un izmantot specifiskas hipotēzes, kas ir attiecināmas uz diskrēto frekvenču spektru uz noteikto fizioloģisko problēmu.

Aprakstītā analīzes metode ir noderīga nākotnes klīnisko redzes elektrofizioloģisko pierakstu analīzei, izpētei. /24, 25/

5. Stereoskopiskā redze

Binokulārā redze ir sensorās un motorās fūzijas kopdarbības rezultāts, kur viena aplūkojamā objekta divi attēli, kas veidojas uz acu tīklenēm, saplūst vienā, un objekts tiek lokalizēts telpā. Stereoskopiskā redze ir binokulārās redzes augstākā pakāpe, kad abu acu tīkleņu attēli tiek savienoti vienā trīsdimensionālā telpiskā uztverē. Ar tās palīdzību cilvēks spēj nojaust attālumu starp objektiem, orientēties telpā. Galvenie priekšnosacījumi ir vesels acu motorais aparāts, vesela tīklene, vesels redzes garozas smadzeņu apgabals. Telpiskā dziļuma uztvere nav atkarīga tikai no stereo redzes. Monokulārās redzes iespējas nodrošina informāciju par aplūkojamā objekta lokalizācijas vietas attālumu. Daļēju dziļuma uztveri nodrošina objekta ēnas, relatīvais lielums attiecībā pret blakus esošiem objektiem.

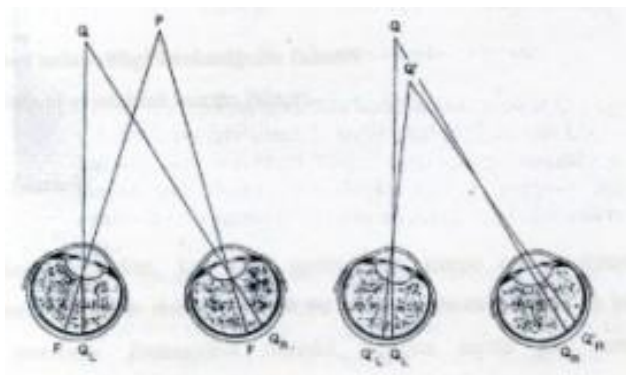
Stereoredzi iespējams noteikt ar vairākiem stereo testiem. Tos izmanto ātrai pārbaudei. Testus iedala pēc attāluma, kādā tos pielieto. Tuvuma stereo testus izmanto 40 cm attālumā, tāluma stereotestus 5 līdz 6 m attālumā. Rādot šos testus, jāņem vērā subjekta korekcija. Stereo objektu uztvere ir viena no cilvēka redzes funkciju svarīgākajiem pētījumiem. Abu acu disparitātes binokulārajā redzē tiek pielietotas objekta stereoskopiskai uztverei. Minimālā stereoskopiskā izšķirtspēja, ko var sasniegt, ir 30 loka sekundes.

Binokulārā kortikālā saite parādās apmēram 6 nedēļu vecumā. 4 mēnešu vecam zīdainim sāk attīstīties fūzijas un līdz ar to sāk parādīties arī stereoredze. Ar VEP pierakstiem iespējams jau agrīni maziem bērniem sākot no 4 – 6 mēnešu vecuma pierakstīt smadzeņu aktivitātes, arī nosakot, vai veidojas stereo redze. /26/

Stereo redzi klīnikā nosaka ar vairākiem testiem, kā Frisbija stereotests, Titmus tests, TNO tests, Lange tests, Izkaisīto punktu E tests.

5.1 Telpiskā dziļuma uztvere

Telpiskai dziļuma uztverei cilvēks izmanto vairākus mehānismus. Viens ir kustības paralakse – šķietama tuvāk esošo ar tālāk esošo objektu savietošana, kā arī monokulāri uztveramā informācija – objekta ēnas, objektu savstarpējais novietojums un lielums, Svarīgākais dziļuma uztveres mehānisms stereo redze ir atkarīga no abu acu vienlaicīgas izmantošanas redzes procesos. Tās laikā smadzenes salīdzina objekta abus attēlus tīklenēs un ar lielu precizitāti nosaka telpisko dziļumu (39.zīmējums). /27/



39.zīm. Shematisks disparitātes zīmējums. Katra nobīde no korespondējošiem punktiem tiek definēta kā disparitāte. Objektī, kas atrodas Panuma zonā tiek sapludināti vienā binokulārā stereoskopiskā attēlā. Stereoskopiskās redzes sajūtu rada smadzeņu spēja noteikt attēla nobīdes uz nekorespondējošiem tīklenes punktiem. /27/

Sakarības starp dziļuma uztveri un disparitāti pēta daudz. Lai gan ne visi punkti redzami abās acīs. Viena objekta virsma aizklāj citas virsmas, katrā acī tomēr objekts ir redzams no cita skata leņķa. Tas veido „daļēju objekta aizklāšanu”. /28/

Dziļuma uztveri kopumā ietekmē stereopse, objekta novietojums, objekta relatīvais izmērs un faktūra. Attēla neskaidrība vai apmiglojums ietekmē dziļuma uztveri. /29/

5.2 Stereo redzes nelabvēlīgi ietekmējošie faktori

Stereo redzes nelabvēlīgi ietekmējošie faktori vispirms ir optiskie faktori kā katarakta, kas rada ievērojamus stereo redzes traucējumus, Samazināta kontrasta jutība ir arī svarīgs nosacījums redzes asuma samazinājumam, līdz ar to samazinās arī stereo redzes kvalitāte. Sensorie faktori – ambliopija ietekmē kontrasta jutību, kas savukārt arī samazina stereopsi. Pie situācijas, kad vienā acī ir samazināta kontrasta jutība, vājākās acs attēls tiek nomākts jeb supresēts, novērojama stereoskopiskās jutības samazināšanās. Kā arī jāpiemin nepareizs binokulārs acu asu savērsums uz objektu izjauc stereo redzi.

5.3 Kādās mērvienībās izsaka stereopsi

Stereo redzes asumu izsaka leņķa sekundēs, kā mazāko relatīvo paralakses leņķi, kuru vēl iespējams atšķirt un saskatīt. Ģeometriski to var izteikt, zinot attālumu no novērotāja līdz novērojamā objekta plaknei „l” (m), attālumu no reālā objekta vai šķietamā objekta līdz pamatplaknei „Δl” (m), starpzīlīšu attālums „PD” (m).

Lai noteiktu stereopses leņķi, izmanto formulu:

$$\eta = \frac{\Delta l \times PD}{l^2}$$

η var izteikt arī radiānos: 1 loka sekunde = $4,848 \times 10^{-6}$ /30/

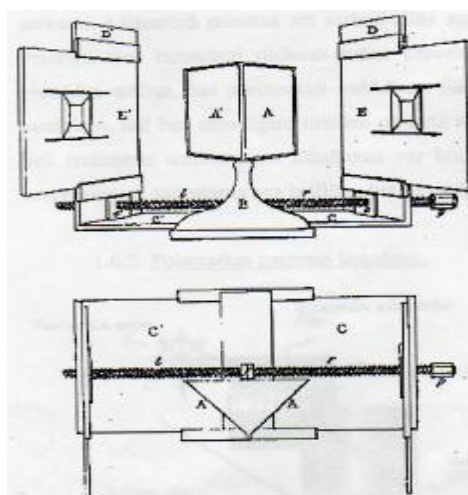
$$\Delta l = \frac{l \times y_p}{PD \pm y_p}, \text{ kur } y_p \text{ ir plaknes attēla stereo paralakse vai nobīde (m) /31/}$$

5.4 Mākslīga stereoattēla veidošana

Jau ilgu laiku veic pētījumus, kur aplūko simulētus stereo attēlus, kurus var izveidot dažādos veidos. Ja nelielas stereogrammas abu attēlu nobīde ir mazāka par starpzīlīšu attālumu, cilvēkiem darbojoties fūziju mehānismam, izdodas ieraudzīt stereo attēlus. Abu acu optiskajām asīm jābūt relatīvi paralēlā stāvoklī, tā, lai labā acs redz labās puses attēlu, bet kreisā acs redz kreisās acs attēlu. Rezultātā rodas fizioloģiskā krustotā diplopija, ko novērš atbilstošā fūzija. /32/

Pirmais, kurš veica praktiskus eksperimentus, bija *Vitson* (1838). Viņš izveidoja Vitsona stereoskopu, kuru uzskata arī par pirmo stereoskopu. *Brevser* (1849) izveidoja un apskatīja stereoskopu, kur tika izmantotas divas sfēriskas lēcas. To nosauca par lentikulāro stereoskopu, kas tika samontēts atbilstoši starpzīlīšu attālumam. Lēcas veidoja objekta šķietamu novietojumu tālumā, tāpēc praktiski nenoslogoja konverģenci. / 30/

40.zīmējumā parādīta attēlu atdalīšana ar spoguļu sistēmas palīdzību.



40.zīm. Attēlu atdalīšana notiek ar spoguļu sistēmas palīdzību. /30/

1960. gadā *Julezs* izveidoja metodi, kā panākt abu acu attēlu atdalīšanu. Viņš izveidoja angliofomas. Viņš izveidoja divus attēlus ar dažādu savstarpējo nobīdi. Katrs no attēliem veidots savā krāsā, t.i., labai acij sarkans, bet kreisai acij zaļš, papildus jālieto sarkani-zaļās brilles. Labā acs ar pielikto sarkano filtru redzēs sarkano attēlu, bet kreisā acs ar zaļo filtru

zaļo attēlu. Tā abas acis redz katra savu attēlu, tikai savstarpēji nobīdītus ar noteiktu disparitāti. Šādus attēlus var veidot no izklīdētiem punktiem, kā tas ir manā maģistra darbā.

/30,32/

Eksperimentālā daļa

1. Ievads

Stereo VEP metodei galvenā priekšrocība ir, ka to izmanto klīnikā bērniem novērtējot stereoredzi. Šajā darbā apskatu divas metodes, kuras balstās uz stereo VEP pierakstiem. Abās datorprogrammās tiks rādīti stereo un nestereo attēli, pierakstītas smadzeņu aktivitātes un to izmaiņas ar VEP iekārtu. Jāvērtē, cik liels būs stereo stimula ieguldījums rezultātos abās programmās. Galvenā pielietotā datu apstrādes metode ir Furjē analīze, kurai ir daudz priekšrocības, analizējot gan VEP, gan arī, piemēram, elektroencefalogrāfijas pierakstus.

2. Darba uzdevumi

Mani darba uzdevumi ir sekojoši:

- Izveidot iekārtu un stimulus stereo VEP atbildes iegūšanai;
- Novērtēt Furjē analīzes pielietošanas iespējas stereo VEP rezultātu analīzē;
- Iegūt monokulāru, binokulāru un stereo VEP;
- Savstarpēji salīdzināt divas dažādas metodes stereo VEP iegūšanai.

3. Darba grupas atlase

Kontroles grupas subjektu atlase notika pēc šādiem parametriem:

1. Vecums 24 – 34 gadi.
2. Redzes asums monokulāri katrai acij (arī ar korekciju) ir vismaz *Visus* 0.9 tālumā un tuvumā.
3. Netraucēta binokulārā redze. Binokulārā redze tālumā tika noteikta ar *Worth* testu un *Bagolini* brillēm.
4. Netraucēta stereoredze, noteikta ar *TITMUS* testu.
5. Netraucēta krāsu redze.
6. Nav acu saslimšanu.

Visus subjektus iepazīstināju ar darba mērķi, apstākļiem un veicamajiem uzdevumiem un tikai aicināti piedalīties pētījumā brīvprātīgi.

4. Eksperimenta testa programmas

Darbā tika izveidotas divas datorprogrammas. Tādā veidā iespējams salīdzināt iegūtos rezultātus.

Pirmais eksperiments.

Pirmais mērījums ir iegūt smadzeņu aktivitātes pierakstus subjektam ar acīm ciet, tā novērtējot smadzeņu aktivitāti, kad bez redzes stimula.

Otrais mērījums ir iegūt katram subjektam VEP standarta līknes. Tā iespējams kontrolēt, kā iekārta darbojas, un kādi ir artefakti.

Stimuls: Iegūtas VEP līknes uz 1Hz reversējošu melnbaltu šaha galdiņa stimulu, 1 stimulss 500ms. Šaha lauciņa lielums 30 loka minūtes.

Līknes iegūtas skatoties binokulāri, kā arī iegūtas monokulāri skatoties uz stimulu. Viena pieraksta vienība ir 1ms. Tā iespējams atrast atšķirības monokulārajos un binokulārajos pierakstos, redzēt, kāds ir binokularitātes ieguldījums VEP pierakstos. Tātad sagaidāms, ka palielināsies VEP amplitūdas, tās būs spēcīgākas.

Datiem veikta Furjē analīze Matlab 6.5 programmā.

Subjekts sēž 80cm no datora ar optisko redzes korekciju, ja tā ir nepieciešama. Redzes asums katrai acij ir vismaz $Visus > 0.9$.

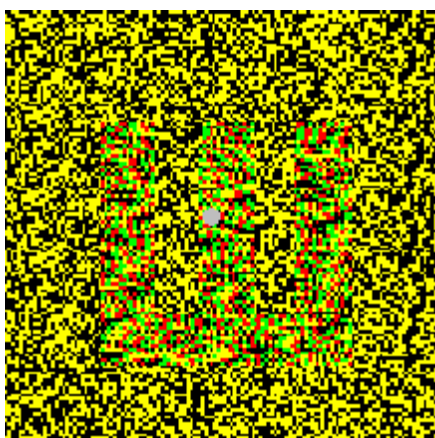
Datora luminance $55 \pm 2 \text{ cd/m}^2$.

Otrais eksperiments.

Stimuls: Iegūtas VEP līknes uz 2Hz reversējošu stimulu, 1 pilns cikls 500ms, katra attēla maiņa notiek 250ms.

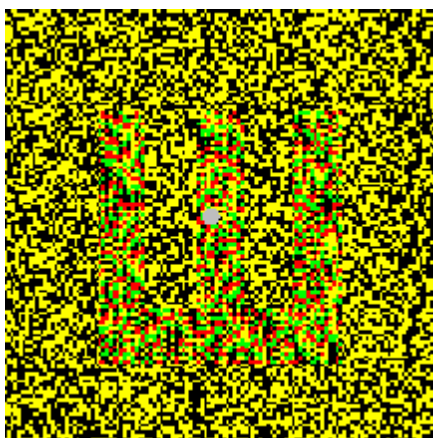
Līknes iegūtas, skatoties binokulāri, kā arī iegūtas, skatoties uz stimulu monokulāri. Viena pieraksta vienība ir 1ms.

Pirmais stimulss: Pirmais stimulss: ar sarkani-zaļām brillēm redze stereo E burtu. Disparitāte ir 40loka s. Stimulss ar 120 pikseli izšķirtspēju. 41. zīmējumā parādīts pirmais stimulss, kur ar sarkani-zaļām brillēm redz telpisku Snellena E burtu.



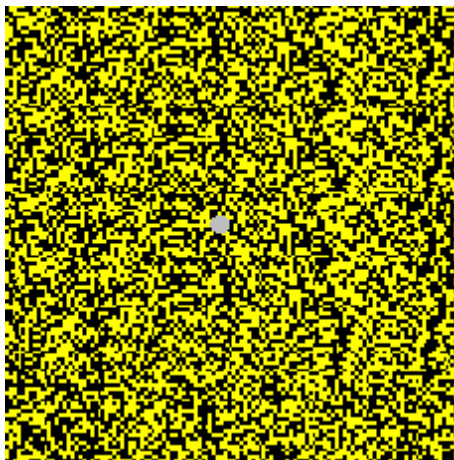
41. zīm. Pirmais stereo stimuls.

Otrais stimuls: Otrais stimuls: neredz telpisku E burtu. Izmanto, lai novērtētu krāsas ietekmi uz VEP parādīts 42.zīmējumā.



42. zīm. Otrais stimuls bez stereo efekta.

Trešais stimuls: Nav stereo stimula, nav sarkani-zaļo krāsu stimula. Tikai vieni paši delteni-melnie iekļiedētie punkti, parādīts 43. zīmējumā.



43. zīm. Trešais stimuls. Izklidēti punkti.

Tā redz atšķirības, kad veidojas stereo bilde un kad neveidojas stereo bilde. Kā arī binokulārās un monokulārās atšķirības.

Datiem veikta Furjē analīze Matlab 6.5 programmā.

Subjekts sēž 80 cm no datora ar optisko korekciju, ja tā ir nepieciešama. Redzes asums katrai acij ir vismaz $Visus > 0.9$.

Datora ekrāna luminance stimuliem ir $47 \pm 2 \text{ cd/m}^2$.

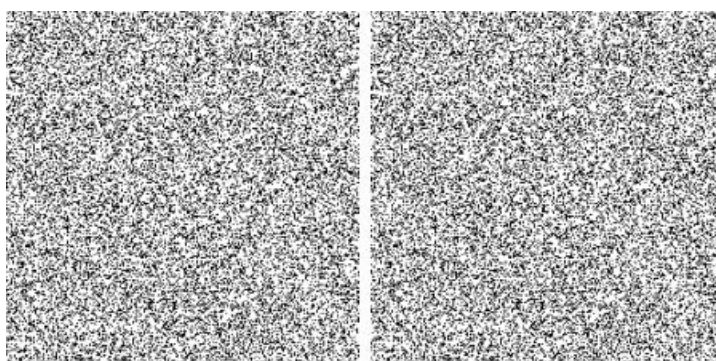
Trešais eksperiments.

Eksperiments darbojas ar spoguļsistēmas iekārtu Uz datora monitora rāda melnbaltas izkliedēto punktu stereogrammas. Iegūtas VEP līknes uz 2 Hz reversējošu stimulu, 1 pilns cikls 500ms, katra attēla maiņa notiek 250ms. Viena pieraksta vienība ir 1ms.

44. zīmējumā parādīta spoguļsistēma. Savukārt, 45.zīmējumā parādīts stimuls – izkliedēto punktu stereogrammas, ko ierauga, izmantojot spoguļsistēmu.



44. zīm. Darba iekārta spoguļsistēma.



45.zīm. Stimuls izkliedēto punktu stereogrammas.

Pirmā eksperimenta daļa. Tiek rādīts stimuls „fons – stereo bilde – fons – stereo bilde”.

Attēlam disparitāte ir 40loka s.

Subjekts sēž 80cm no datora ekrāna ar optisko redzes korekciju, ja tā ir nepieciešama. Redzes asums katrai acij ir vismaz $Visus > 0.9$.

Datora ekrāna luminance stimuliem $48 \pm 2 \text{ cd/m}^2$.

VEP datu analīzē tika izmantota *Matlab* programma. Nepieciešamās FFT formulas tika atrastas internetā (www.mathworks.com). Formulu aprakstā bija minēts, ka tās ir paredzētas trokšņaina signāla analīzei, lai noteiktu signāla frekvenču sadalījumu. /33/ Izmantotās formulas bija sekojošas:

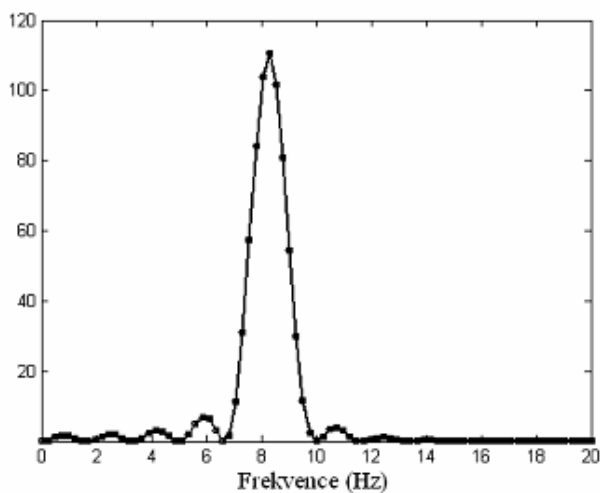
$$Y = \text{fft}(y,N);$$

$$Pyy = Y.* \text{conj}(Y)/N;$$

$$f = t*(0:x)/N;$$

kur y ir analizējamie dati; N – kopējais datu skaits; t – datu daudzums 1 sekundē; x – lielums, kuru izvēlas atkarībā no tā, kāda ir nepieciešama maksimālā vērtība uz frekvenču skalas. Grafikā tiek attēloti lielumi f un Pyy , kur f ir frekvence (Hz) un Pyy amplitūdu vērtības. Jo lielāks ir datu daudzums N , jo ir iespējams iegūt lielāku frekvenču izšķirtspēju.

Lai novērtētu, kādas ir Furjē analīzes pielietošanas iespējas datu analīzē, metode tika pārbaudīta, izmantojot matemātiski iegūtus datus. 46.zīmējumā redzama Furjē analīze no sinusa funkcijas, kuras frekvence ir 8.33Hz.



46.zīm. Furjē analīzes amplitūdu vērtības frekvenču telpā.

5. Kļūdas novērtējums

Rezultātos jāņem vērā vairāki faktori:

1. Cik labi ir uzstādīta aparatūra, t.i., cik veiksmīgi ir pielikti subjektiem elektrodi.
2. Vai subjekts jūtas labi, ir paēdis, izgulējies, spēj koncentrēties eksperimentam. Ja subjekts nav izgulējies, parādīsies α viļņi.
3. Stimuliem jābūt skaidri redzamiem un subjektam jāskatās uz fiksācijas punktu, lai nebūtu acu kustību.
4. Mirkšķināšana.
5. Datorprogrammās stimuliem jāmainās precīzi laikos.
6. VEP pieraksta ilgumam jābūt vismaz, lai būtu pieci pilni stimula rādīšanas cikli. Jāmin, ka svarīgs lielums ir mērījuma ilgums.
7. VEP pierakstiem vēlams katru pierakstu veikt mazāk par vienu mērījumu vienā milisekundē. Tā kā manā darbā attālums starp punktiem ir 1 milisekundi, kas arī var radīt kļūdu.

6. Rezultāti

Kopumā visiem 4 subjektiem veikti trīs eksperimenti. Pirmais eksperiments ir VEP standartlīknes iegūšana. Katram subjektam iegūtas trīs standartlīknes, skatoties uz reversējošu „šaha galdiņa” stimulu. Vienam subjektam pierakstītas VEP smadzeņu aktivitātes, sēžot ar aizvērtām acīm, tā novērtējot smadzeņu aktivitāti bez redzes stimula. Otrais eksperiments ir balstīts uz stereo VEP iegūšanu, kur kā stimuls ir izkliedēto punktu sarkani-zaļš Snellena E burts. Šeit iegūst gan stimulu ar stereo efektu, gan stimulu bez stereo efekta. Trešais stimuls ir fons ar izkliedētiem punktiem bez sarkani-zaļiem punktiem, ko uzskata par atskaites stimulu. Trešā eksperimenta daļā kā stimuls ir izkliedēto punktu stereogrammas datora ekrānā, bet papildus tiek izmantota spoguļsistēma.

Rezultāti standartlīknēm visiem subjektiem parādīja, ka binokulārās smadzeņu aktivitātes VEP atbildes amplitūdas ir mēreni lielākas nekā monokulārās atbildes, kas sakrīt ar literatūras datiem. Savukārt latences binokulārajiem pierakstiem ir nedaudz mazākas vai arī maz atšķiras no monokulāro pierakstu latencēm.

Otrajā eksperimenta daļā Furjē analizē atrod sagaidāmās amplitūdas pie noteiktām frekvencēm. Stereo VEP pieraksti uzrāda lielākas vidējās amplitūdas, nekā binokulārie VEP pieraksti.

Trešajā eksperimenta daļā, izmantojot spoguļsistēmu, stereo stimulu VEP atrodami lielāki ieguldījumi amplitūdu pierakstos nekā binokulārie nestereo stimuliem.

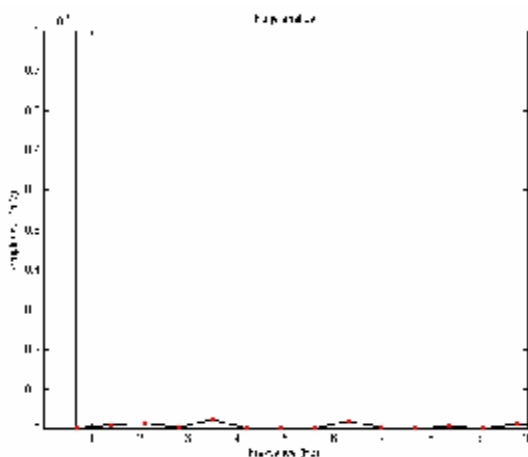
Abas metodes iespējams pielietot, lai mērītu stereo VEP atbildes.

7. Rezultātu analīze

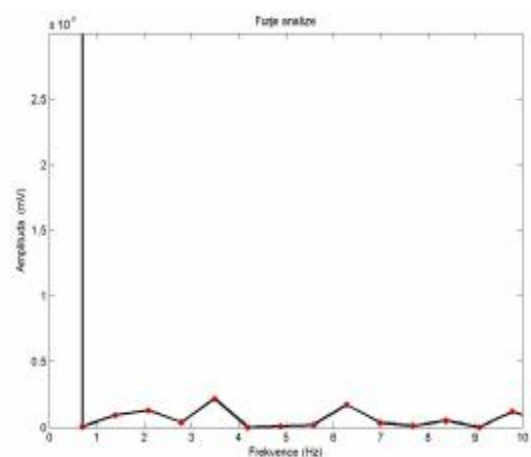
Pirmais eksperiments.

Pirmā daļa.

Nomērītas līknes subjektam, ar aizvērtām acīm parādītas 47. zīmējumā un 48. zīmējumā ir viena subjekta vienas līknes Furjē analīzes rezultāti, norādot dažādu skalu palielinājumus.



47.zīm. Subjekts IG. Amplitūdas palielinājums ($\text{mV} \times 10^{-8}$) uz y ass, frekvence (Hz) uz x ass.



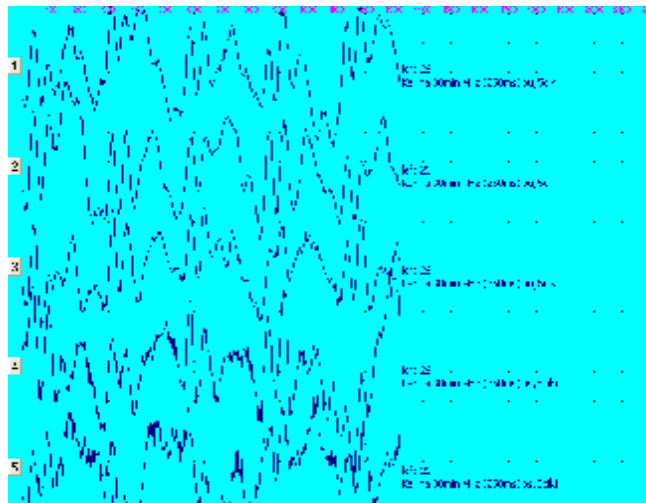
48.zīm. Subjekts IG. Attēlots amplitūdas palielinājums ($\text{mV} \times 10^{-9}$) uz y ass, frekvence (Hz) uz x ass.

Mērot smadzeņu aktivitātes subjektam ar acīm ciet, nerādot redzes stimulu, iegūtie Furjē analīzes rezultāti neuzrāda izteiktas amplitūdas, līknes ir vienmērīgas. Amplitūdu vērtības svārstās ap $0,1-0,2 \times 10^{-9}$ mV.

Otrā daļa. Iegūst standartlīknes.

Pirmais subjekts AK.

49.zīmējumā subjekta AK VEP pierakstu līknes.

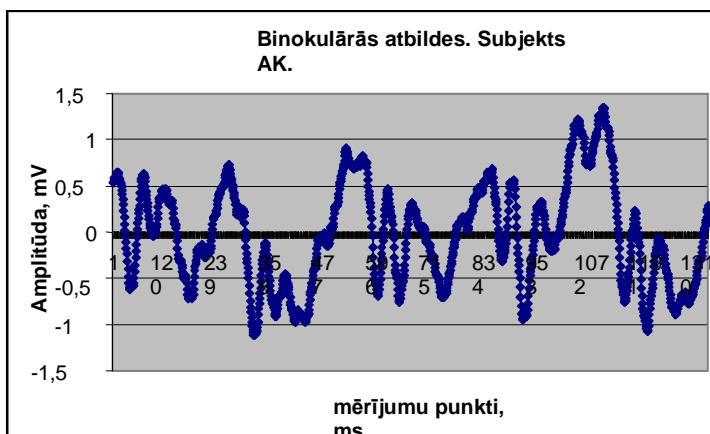


49.zīm. Subjekta AK VEP pierakstu līknes.

Pirmās trīs līknes iegūtas skatoties binokulāri, ceturtā līdz piektā līknes iegūtas monokulāri.

Iegūtie dati apstrādāti ar *Microsoft Office Excel* programmu matemātiskajās vērtībās.

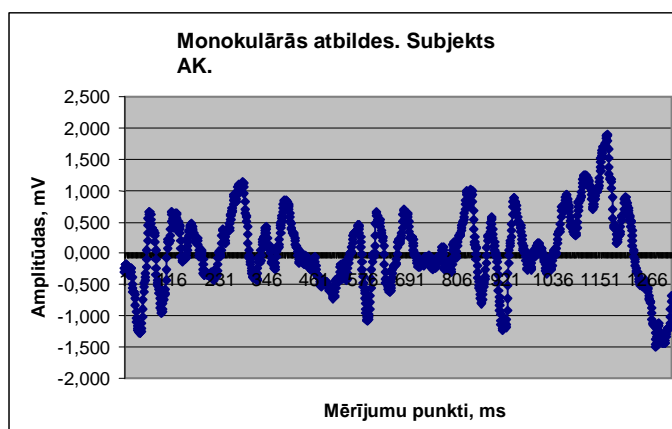
50.zīmējumā parādītas matemātiskās vērtības binokulārajām atbildēm subjektam AK.



50.zīm. Matemātiskās vērtības pirmajai binokulārajai līknei. Subjekts AK.

51.zīmējumā parādītas matemātiskās vērtības monokulārajām atbildēm subjektam AK.

Monokulāri izvēlēta ir kreisā - vadošā acs.



51.zīm. Matemātiskās vērtības ceturtajai monokulārajai līknei. Subjekts AK. Mērījums veikts kreisajai vadošajai acij.

Ir atrastas vērtības VEP pierakstiem kā latences un amplitūdas novērtējums.

2. Tabula

Subjekti	N75-100, mV	
	Monokulāri	Binokulāri
AK	21,7	27,2
	23,4	25,6
IG	10,08	11,5
AM	9,09	9,89
PA	6,5	9,62

Amplitūdu salīdzinājums visiem subjektiem standartlīknēm, ņemtas vidējās amplitūdas.

Praktiski kā minēts literatūrā, binokulārās atbildes amplitūdas ir salīdzinoši lielākas nekā monokulārās atbildes. Eksperimentā tas arī izpildās visiem subjektiem.

Veicot statistisko apstrādi iegūst, ka vidējā vērtība amplitūdai monokulārajiem pierakstiem visu subjektu grupā ir 14,2mV, bet vidējā vērtība amplitūdai binokulārajiem pierakstiem visu subjektu grupā ir 16,8mV. Dati statistiski savstarpēji atšķiras.

3.tabulā parādītas latenču vērtības monokulārajiem un binokulārajiem VEP pierakstiem.

3. Tabula

Subjekti	Monokulāri		Binokulāri	
	N75, ms	P100, ms	N75, ms	P100, ms
AK	59	88	55	83
	66	91	56	87
	58	89	61	89
IG	48	92	44	69
	46	94	41	78
AM	21	45	27	45
	23	44	19	45
PA	9	44	9	43
	25	44	9	41

Latenču salīdzinājums visiem subjektiem standartlīknēm.

Ja salīdzina amplitūdas, tad N75 latenču izmaiņas nav izteiktas, bet P100 latences vērtības binokulārajās atbildēs ir mazākas nekā monokulārajās atbildēs. Tātad monokulāri latence P100 ir ilgāka.

Veicot statistisko apstrādi, iegūst, ka vidējā vērtība N75 latencei monokulārajiem pierakstiem visu subjektu grupā ir 39,4ms, bet vidējā vērtība latencei binokulārajiem pierakstiem visu subjektu grupā ir 35,7ms.

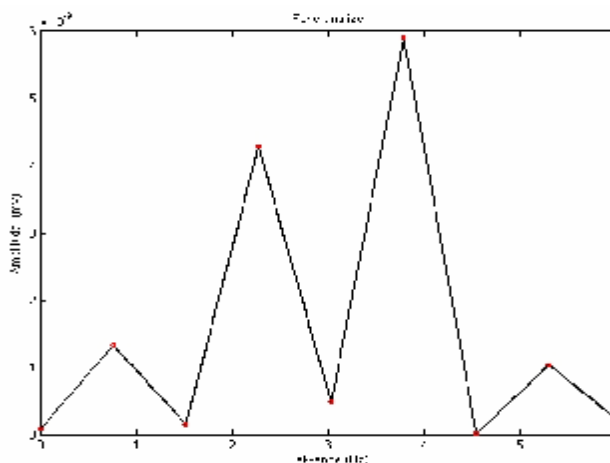
Veicot statistisko apstrādi, iegūst, ka vidējā vērtība P100 latencei monokulārajiem pierakstiem visu subjektu grupā ir 70,1ms, bet vidējā vērtība latencei binokulārajiem pierakstiem visu subjektu grupā ir 64,4ms.

Dati statistiski savstarpēji atšķiras.

Jāmin, ka literatūrā standartlīknēs galvenais atskaites punkts ir amplitūdas.

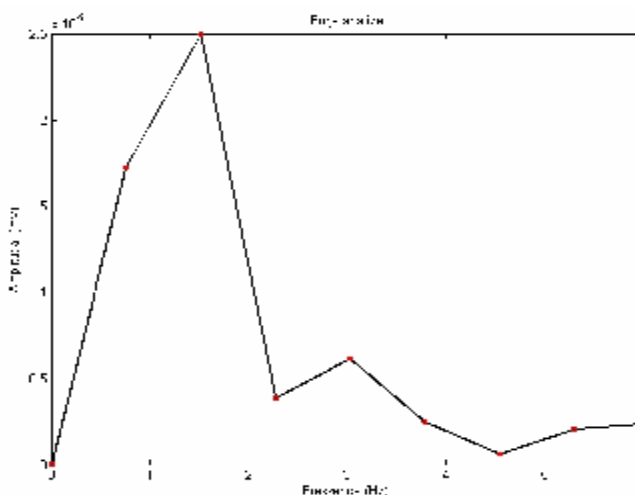
Ar Matlab 6.5 analīzes programmu veicu Furjē analīzi.

52.zīmējumā parādītas binokulārās atbildes subjektam AK. Grafikā attēlots amplitūdu salīdzinājums frekvenču telpā.



52.zīm. Subjekts AK. Binokulārie pieraksti standarta VEP. Amplitūda ($\times 10^{-8}$ mV) uz y ass, uz x ass frekvence (Hz).

53.zīmējumā parādītas monokulārās atbildes subjektam AK. Grafikā attēlots amplitūdu salīdzinājums frekvenču telpā.

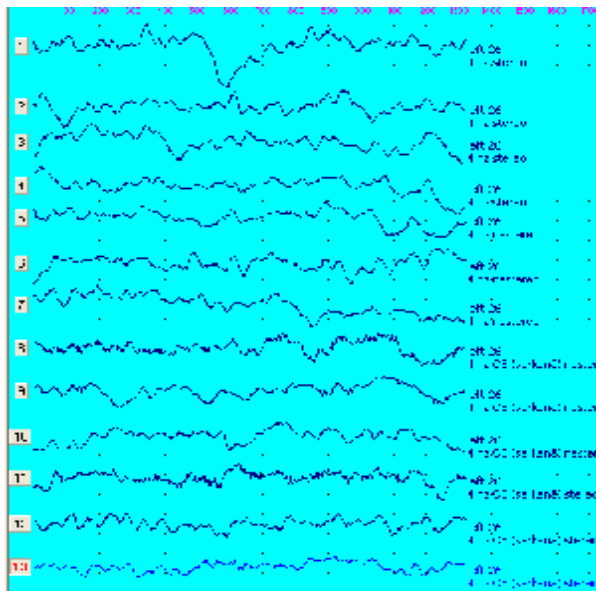


53.zīm. Subjekts AK. Monokulārie pieraksti standarta VEP. Amplitūda ($\times 10^{-8}$ mV) uz y ass, uz x ass frekvence (Hz).

Otrais eksperiments.

Otrais eksperiments jau balstīts uz stereo VEP. Ar krāsainiem izkliedētiem punktiem ir izveidoti sarkani-zaļiem stimuli. Subjekts skatās cauri sarkani-zaļām brillēm.

54.zīmējumā. parādītas subjekta AK iegūtās stereo VEP, binokulārās VEP un monokulārās VEP līknes.



54.zīm. Iegūtās VEP līknes pieraksti. Subjekts AK.

Līknes no 1-4 iegūtas: subjekts skatās binokulāri, redz stereo stimulu. Rāda fonu (trešais stimuls) un stereo stimulu (pirmais stimuls).

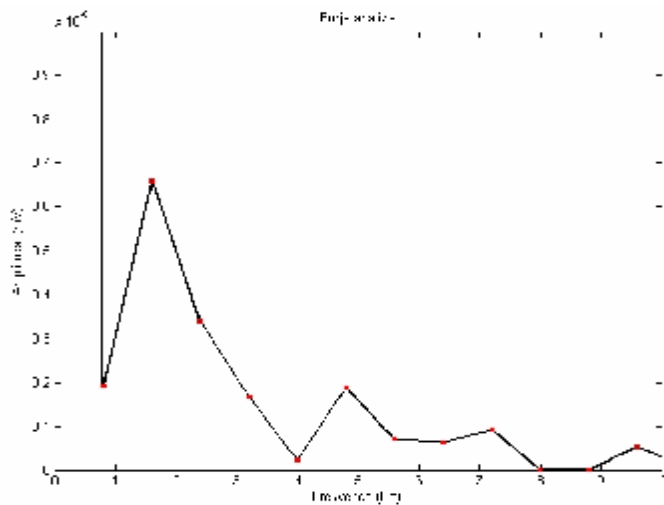
No 5 līdz 7 līknes: Rāda stimulu bez disparitātes (otrais stimuls) un fonu (trešais stimuls). Šim stimulam nav stereo efekta.

No 8-3 līknēs attēloti monokulārie vadošās acs VEP pieraksti.

Tā var salīdzināt pirmo un otro eksperimenta daļu, meklējot, kur un vai parādās Furjē analīzē stereo stimula ieguldījums.

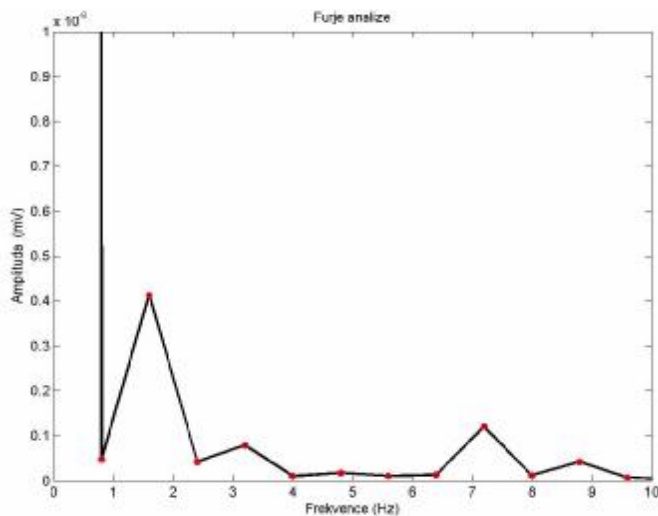
Iegūtos datus apstrādātu Matlab 6.5 programmā ar Furjē analīzi.

55.zīmējumā parāda stimulu „fons – stereo stimuls”.



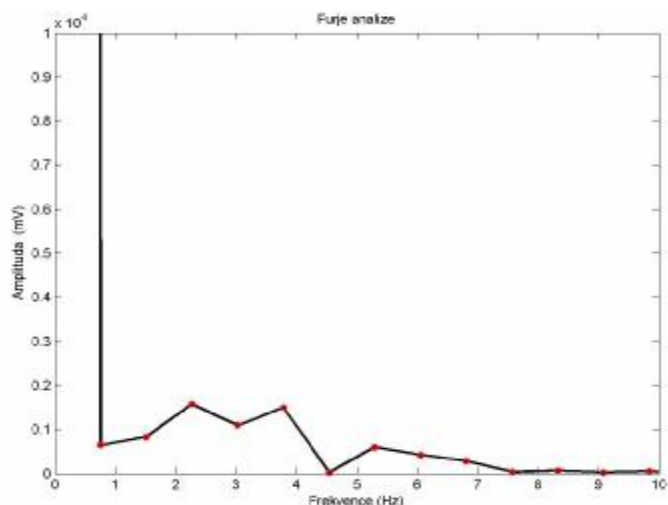
55.zīm. Subjekts AK. Binokulārie pieraksti stereo VEP. Amplitūda ($\times 10^{-8}$ mV) uz y ass, uz x ass frekvence (Hz). Skatās caur sarkani-zaļām brillēm.

56.zīmējuma parāda otro eksperimenta daļu, subjekts skatās binokulāri ar sarkani-zaļām brillēm uz stimulu „fons-nestereo”. Neveidojas stereo efekts.



56.zīm. Subjekts AK. Binokulārie pieraksti nestereo VEP. Amplitūda ($\times 10^{-8}$ mV) uz y ass, uz x ass frekvence (Hz). Skatās cauri sarkani-zaļām brillēm.

57.zīmējums parāda trešo eksperimenta daļu, subjekts skatās monokulāri ar sarkano filtru uz vadošās acs un uz stimulu „fons-stereo”.



57.zīm. Subjekts AK. Monokulārie pieraksti VEP. Amplitūda ($\times 10^{-8}$ mV) uz y ass, uz x ass frekvence (Hz). Skatās caur sarkano filtru uz vadošās acs.

Visu subjektu amplitūdu vērtības pie 2Hz frekvences atspoguļotas 4. tabulā.

4. Tabula

Subjekti	Amplitūdas mV x 10-9 Pie 2Hz frekvences		
	Stereo	Nestereo	Mono
AK	6.5	4.1	1.5
	2.9	0.8	1.4
IG	0.85	0.12	0.1
	0.43	0.2	0.22
AM	1	0.8	0.07
	9.3	4.8	3.6
PA	3	1.2	1.1
	2	0.7	1.9
	0.4	0.65	1.8

Veicot statistisko apstrādi, iegūst, ka vidējā vērtība amplitūdai stereo VEP pierakstiem visu subjektu grupā ir 2,9mV, bet vidējā vērtība amplitūdai binokulārajiem pierakstiem visu subjektu grupā ir 1,5mV. Dati statistiski savstarpēji atšķiras.

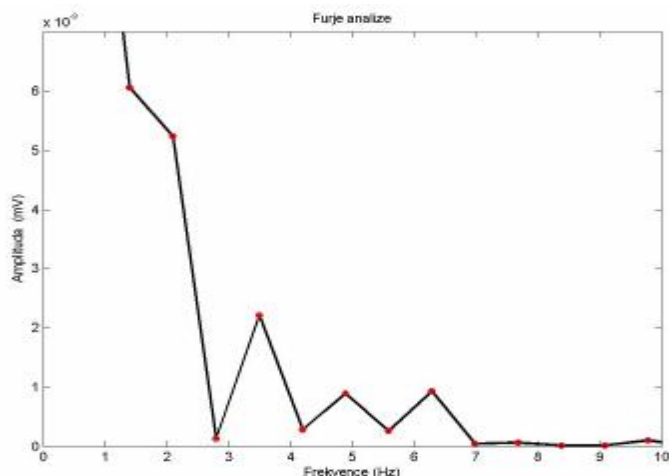
Trešais eksperiments.

Šeit tiek izmantota spoguļsistēma un kā stimulus izklaidēto punktu stereogrammas.

Pirmā eksperimenta daļa.

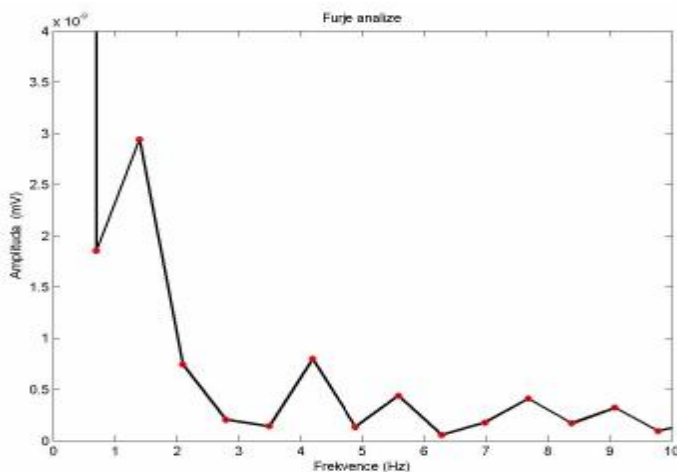
Iegūst stereo VEP atbildes. Kā stimuluss ir „fons – stereo”.

58.zīmējums parāda pirmo eksperimenta daļu, subjekts skatās „fons-stereo”.



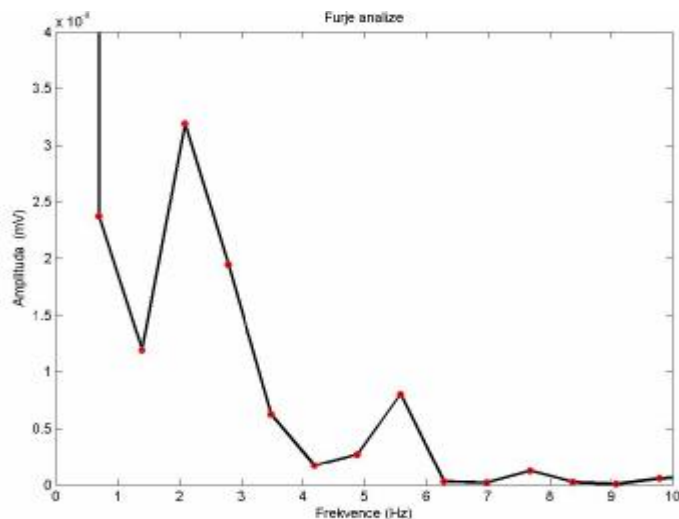
58.zīm. Subjekts AK. Binokulārie pieraksti stereo VEP. Amplitūda ($\times 10^{-9}$ mV) uz y ass, uz x ass frekvence (Hz).

59.zīmējums parāda pirmo eksperimenta daļu, subjekts skatās „fons-ne stereo”.



59.zīm. Subjekts AK. Binokulārie pieraksti ne stereo VEP. Amplitūda ($\times 10^{-9}$ mV) uz y ass, uz x ass frekvence (Hz).

60.zīmējums parāda trešo eksperimenta daļu, subjekts skatās monokulāri uz stimulu „fons-stereo”.



60.zīm. Subjekts AK. Monokulārie pieraksti VEP. Amplitūda ($\times 10^{-8}$ mV) uz y ass, uz x ass frekvence (Hz). Skatās ar vadošo kreiso aci.

Visu subjektu amplitūdas dotas 5.tabulā

5.Tabula

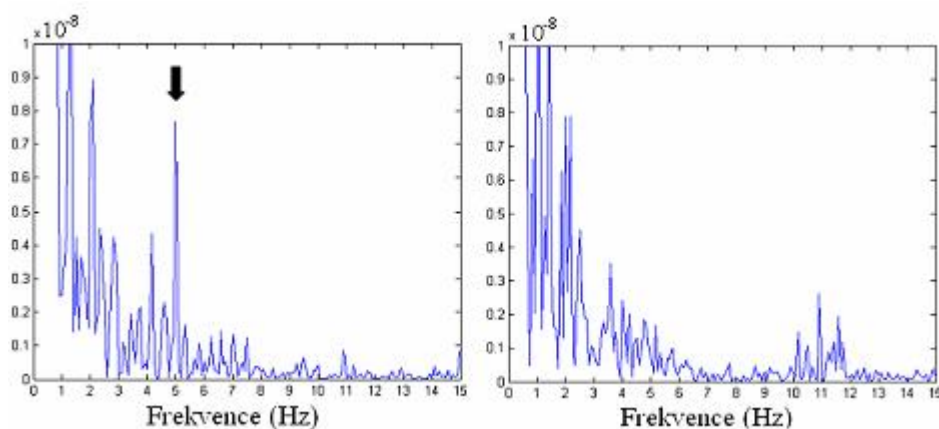
Subjekti	Amplitūdas mV x 10-9 Pie 2Hz frekvences		
	Stereo efekts	Nestereo binokulārais efekts	Monokulārie pieraksti
AK	6,5	4,1	1,5
	2,9	0,8	1,4
	0,85	0,12	0,1
IG	0,43	0,2	0,22
	1	0,8	0,07
	9,3	4,8	3,6
AM	3	1,2	1,1
	2	0,7	1,9
PA	0,4	0,65	1,8

Veicot statistisko apstrādi, iegūst, ka vidējā vērtība amplitūdai stereo VEP pierakstiem visu subjektu grupā ir 2,8mV mV, bet vidējā vērtība amplitūdai binokulārajiem pierakstiem visu subjektu grupā ir 2,2mV. Dati statistiski savstarpēji atšķiras.

Savstarpēji, salīdzinot abu metožu stereo VEP vidējās amplitūdas, tad 2.eksperimentā ar sarkani-zaļām brillēm stereo VEP vidējā amplitūda visiem subjektiem kopumā ir 2,9mV, bet 3.eksperimentam ar spoguļsistēmu vidējā amplitūda visiem subjektiem ir 2,8mV. Binokulārās atbildes vidējās amplitūdas 2.eksperimentā ar sarkani-zaļām brillēm visiem subjektiem kopumā ir 1,5mV, bet 3. eksperimentam ar spoguļsistēmu vidējā amplitūda visiem subjektiem ir 2,2mV. Bet monokulārās atbildes eksperimentā ar sarkani-zaļām brillēm vidējās amplitūdas

grupas robežās ir 1,3mV, bet eksperimentā ar spoguļsistēmu vidējās amplitūdas grupas robežās ir 1,3mV.

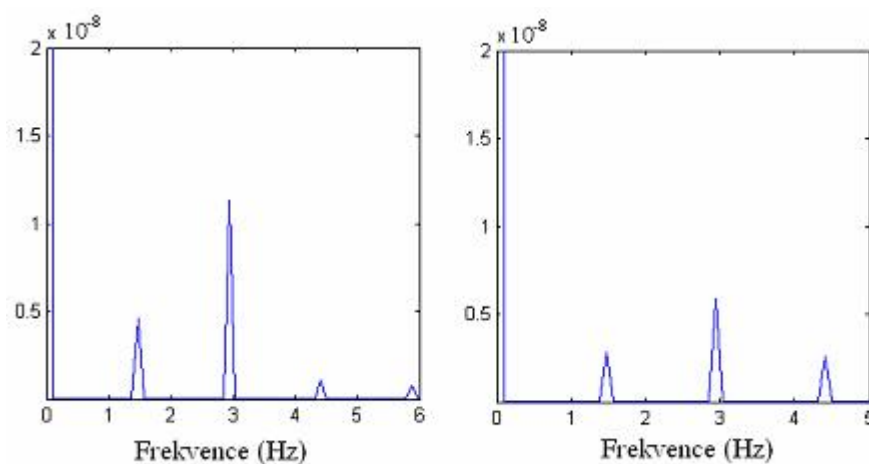
Lai arī rezultāti uzrāda statistiski nozīmīgu atšķirību starp amplitūdu vidējām vērtībām pie stereo stimula un binokulārā stimula, tomēr rezultātu izkliede katram no subjektiem ir liela un iegūtās Furjē analīzes ir ar samērā sliktu frekvenču izšķirtspēju. Lai pārliecinātos par iegūto rezultātu pareizību, vienam subjektam tika izdarīti papildus eksperimenti, reģistrējot datus ilgāku laika periodu. Vispirms tika veikts mērījums, izmantojot melnbaltu „šaha lauciņa” stimulu. Stimuls tika periodiski rādīts uz melna fona. Pilna cikla frekvence bija 5Hz. Viena mērījuma reģistrēšanas ilgums bija 12000ms (datu reģistrēšanas biežums bija 1KHz), kuros ietilpst 60 pilni cikli. Mērījums tika veikts 5 reizes un datu analīzē tika izmantotas vidējās vērtības. Tā kā „šaha lauciņa” stimuls rada pietiekamu spēcīgu amplitūdu VEP signālā, tad arī Furjē analīzes grafikā ir pamanāma liela amplitūda pie 5Hz (61.zīmējumā). Tika izdarīts vēl viens mērījums, kurā subjekts bija aizvēris acis un stimulu neredzēja. Šinī gadījumā amplitūdas vērtība pie 5Hz nav lielāka par trokšņu līmeni.



61.zīm. Furjē analīze mērījumam ar melnbaltu stimulu (kreisais attēls) pie rādīšanas frekvences 5Hz un mērījumam, kurā subjekts stimulu neredzēja (labais attēls).

Pēc tam tika veikts mērījums, kurā tika rādīts stereo stimuls un binokulārais stimuls, izmantojot spoguļu sistēmu (metode smalkāk raksturota eksperimentālajā nodaļā pie trešā eksperimenta apraksta). Pilna cikla frekvence bija 2.94Hz. Viena mērījuma reģistrēšanas ilgums bija 10200ms, kuros ietilpst 30 pilni cikli. Mērījums tika vidējots 5 reizes. Furjē analīzē amplitūda pie 2.94Hz nebija lielāka par trokšņu līmeni un, veicot atkārtotus mērījumus, tās vērtības bija stipri atšķirīgas. Tas varētu būt izskaidrojams ar to, ka stereo stimuls rada vāju VEP atbildi un vidējošana 5 reizes ir par maz, lai pietiekami samazinātu trokšņu līmeni. Veicot papildus esošo datu vidējošanu un periodiski iekopējot vidējos datus, kuru garums bija 2 pilni cikli, vienu aiz otra, tika iegūti jauni dati. Tāda pati datu apstrāde tika veikta binokulārā stimula rezultātiem. Salīdzinot pie 2.94Hz iegūtās amplitūdas starp

mērījumiem ar stereo stimulu un binokulāro stimulu (62.zīmējums), tad amplitūda pie stereo stimula ir gandrīz 2x lielāka nekā pie binokulārā stimula.



62.zīm. Furjē analīze mērījumiem ar stereo stimulu (kreisais attēls) un binokulāro stimulu pie stimulu rādīšanas frekvences 2.94Hz.

8. Secinājumi

1. Ir izveidota iekārta stereo VEP atbildes iegūšanai. Tika izmantotas divas metodes stereo stimulu rādīšanai:

- a) izmantojot sarkani-zaļās brilles;
- b) izmantojot spoguļsistēmu.

2. Izmantojot uzmodelētus un eksperimentāli iegūtus datus, Furjē analīze ļauj novērtēt amplitūdas un to izmaiņas pie stimula rādīšanas frekvencēm.

3. Ar abām metodēm iegūtas subjektiem monokulāras stimulēšanas VEP atbildes, binokulāras stimulēšanas VEP atbildes un stereo stimulēšanas VEP atbildes. Metodē ar sarkani-zaļām brillēm amplitūdu vērtības pie stereo VEP ir lielākas nekā binokulārās VEP atbildes. Vidējās vērtības amplitūdām metodei ar sarkani-zaļām brillēm visiem subjektiem stereo stimula grupā ir 2,9mV, bet ne stereo binokulārajām amplitūdām ir 1,5mV. Metodei ar spoguļsistēmu visiem subjektiem stereo stimula grupā amplitūdas vidējā vērtība ir 2,8mV, bet ne stereo binokulārā stimula grupā amplitūdas vērtība ir 2,2mV.

4. Abas metodes iespējams pielietot, lai mērītu stereo VEP atbildes. Iekārta ar spoguļsistēmu uzrāda stabilākus stereo, binokulāros un monokulāros pierakstus.

9. Nobeigums

Ar šo darbu es gribēju likt uzsvaru uz stereo redzes nozīmi katra cilvēka ikdienā. Liela nozīme ir arī VEP iekārtām un ar tām iespējamajiem pētījumiem un pielietojumiem, kas noder gan klīniski praksē un redzes zinātnē. Darbs ir kā pamats daudziem nākamajiem pētījumiem, ne tikai saistītiem ar stereo redzi. Bet arī ar iespējām veikt VEP pierakstus bērniem, nerunājošiem cilvēkiem vai, piemēram, cilvēkiem ar migrēnām vai epilepsiju, kam smadzeņu darbībā un to pierakstos būs atšķirības VEP iegūtajos rezultātos, tātad šo iekārtu daudzveidīgi var izmantot klīnikā. Darbā tika uzsvērtas tēmas kā VEP iekārtas un VEP pieraksti, ar kādām neprecizitātēm un kas jāņem vērā, veicot VEP pierakstu analīzi, Furjē analīzes pielietojums datu apstrādē.

Pateicība

Izsaku pateicību darba vadītājam Guntai Krūmiņai par ieguldījumu, idejām darba gaitā.

Izsaku pateicību Gatim Ikauniekam par pacietību un palīdzību, veicot eksperimentus un par daudzajiem ideju risinājumiem.

Izsaku pateicību ģimenei un draugiem par atbalstu gan darba rakstīšanas laikā, gan visā mācību laikā.

Paldies visiem Redzes un Optometrijas Zinātnes nodaļas pasniedzējiem par iespēju iegūt zināšanas un pieredzi.

Izmantotā literatūra

1. Ildze Hercoga, **Binokulārās redzes patoloģijas**, Rīga, 1997;
2. J. V. Odom, M Bach, C Barber, M Brigell, M F Marmor, A P Tormene, G E Holder, **Visual Evoked Potential Standart (2004)**, *Documenta Ophthalmologica* **108** : 115-123, 2004;;
3. Clganek L., **The EEG Response (Evoked Potential) to Light Stimulus in Man. Electroencephalograph.**, *Clin. Neuro.* **13**:165-72, 1961;
4. В.В.Гнездицкий, А.М.Шамшинова, Научно-медицинская фирма «МБН», **Опыт применения вызванных потенциалов в клинической практике**, Москва, 2001;
5. J.V.Odom, M.Bach, V.Barber, M.Brigell, M.F.Marmor, A.P.Tormene, G.E.Holder, **Visual Evoked potentials standard (2004)**, *Documenta Ophthalmologica* **108**, pp. 115-123, 2004;
6. www.ishys.com;
7. A. B. Morland, M. B. Hoffmann, M. Neveu, G. E. Holder, **Abnormal Visual Projection in a Human Albino Studied With Functional Magnet Resonance Imaging and Visual Evoked Potentials**, *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2002; **72**:523-526;
8. P. Christophis, D. Reiter, A. Woszczyk, **Verification of Brain Dysfunctions in Injuries at the Cranio-Spinal Junction Through the Use of Evoked Potentials**, *Brain Topography* , 2002, Volume **14**, Number 4, Page 349;
9. Rıdvan Akın, Bülent Ünay, S. Ümit Sarıcı, Ümit Ulaş, Erdal Gökçay, **Evaluation of visual evoked potentials in children with headache**, *The Turkish Journal of Pediatrics* 2005, Volume **47**, Number 2, Page(s) 150-152;
10. www.metrovision.fr;
11. D. P. Crewther, C. D. Luu, P. M. Kiely, L Kowal, S. G. Grewther, **Clinical Application of the Multifocal Visual Evoked Potential**, *Clin Exp Optom* 2004; **87** : 3: 163-170;
12. Revision 1 Submitted to IEEE Transactions on Biomedical Engineering January 3, 1998.
13. Sclar G, Ohzawa I, Freeman RD, **Binocular summation in normal, monocularly deprived, and strabismic cats: visual evoked potentials**, *Exp Brain Res.* **62**(1):1-10; 1986.
14. John J. Sloper, Carolyn Garnham, Petrous Gous, Roger Dyason and Deborah Plunkett, **Reduced Binocular Beat Visual Evoked Responses and Stereoacuity in Patients with Duane Syndrome**, *Investigative Ophthalmology and Visual Science.* **42**:2826-2830; 2001.
15. „Seeing in Depth” Volume 1, Basic Mechanisms, Ian P. Howard, Published by I Porteous, Toronto, 2002, P: 257-260;
16. A.Penne, P. Baraldi, S. Fonda and F. Ferrari, **Incremental binocular amplitude of the pattern visual evoked potential during the first five months of life: electrophysiological evidence of the development of binocularity**, 2005;

17. Julia Hale, Richard A. Harrad, Suzanne P. McKee, Mark W. Pettet, and Anthony M. Norcia, **A VEP Measure of the Binocular Fusion of Horizontal and Vertical Disparities**, *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, **46**:1786-1790; 2005;
18. W. Skrandies, **Stereoscopically Evoked Brain Activity in Patients with Microstrabism**, *Brain Topography*, 2002, Volume **14**, Number 4, Page 351;
19. SL Shea, RN Aslin and D McCulloch, **Binocular VEP summation in infants and adults with abnormal binocular histories**, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol **28**, 356-365, 1987;
20. „**Seeing in Depth**” Volume 1, Basic Mechanisms, Ian P. Howard, Published by I Porteous, Toronto, 2002, P: 261-262;
21. J.R. Charlier¹, S.Defoort-Dhelemmes, S.Vermandel, **Clinical Evaluation of Visual Evoked Potential Tests Using Dichoptic Stimulations Obtained With Ferroelectric Shutters**, 2005;
22. McCulloch DL, Skarf B., **Development of the human visual system: monocular and binocular pattern VEP latency**, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1991 Jul;**32**(8):2372-81;
23. „**Seeing in Depth**” Volume 1, Basic Mechanisms, Ian P. Howard, Published by I Porteous, Toronto, 2002, P: 262-263;
24. <http://www.augen.uniklinik-freiburg.de/mit/bach/ops/fou/>;
25. M.Bach, Th. Meigen, **Do`s and Don`ts in Fourier analysis of steady-state potentials**, *Documenta Ophthalmologica* **99**: 69-82, 1999.
26. John A. Pratt-Johnson, M.B., F.R.C.S.(C), F.R.C.S. (Edin), Geraldine Tillson, D.B.O. (T), O.C. (C), **Management of Strabismus and Amblyopia**, New York, 1994;
27. Zhang, Qi, Idesawa M., and Mogi K., **3D Volumetric Object Perception in Binocular Vision**, 2002;
28. J. Malik, E. Charowhas, **Stereoscopic occlusion Junctions**, *Nature Neuroscience*, Vol. **2**: 840-843, 1999;
29. G. Mather, **The Use of Image Blur as a Depth Cue in Human Vision**, 2003;
30. Liu Z, Kersten D, **2D observers for Human 3D Object recognition?**, *Vision Res*, Aug: **38**(15-16): 2507-19, 1998;
31. G. Papelba, M. Ozolinsh, J. Petrova, I. Cipane, **Stereoacuity determination at changing contrast of colored stereostimuli**, Riga, 2003;
32. D. Regan, **Binocular Vision**, Vol. **9**, Vision and Visual Dysfunction, 2001;
33. www.mathworks.com

Pielikumi

1. Pielikums

FROM CHIAPPA:

Full Field VEP				
	Mean	Range	SD	Mean + 3SD
P100 latency	102.3 msec	89-114	5.1	117.6
L-R Diff	1.3 msec	0-6	2.0	7.3
P100 Amp	10.1 μ V	3-21	4.2	---
P100 Amp Diff	1.6 μ V	0-5.5	1.4	5.8

Check size = 25.8'

VEP Check Size Effects							
Check Size	Latency (msec)				Amplitude (μ V)		
	Latency Mean (SD) (range)	Latency ULN	L-R Diff Mean (SD) (range)	L-R Diff ULN	Amplitude Mean (SD) (range)	L-R Diff Mean (SD) (range)	L-R Diff ULN
17'	106.8 (6.4) (96.7-128.8)	126.0	2.73 (2.32) (0-8.80)	9.7	8.34 (3.71) (1.6-18.7)	1.48 (1.19) (0.2-5.2)	5.1
35'	102.9 (7.4) (88.6-121.4)	125.1	2.53 (2.91) (0-13.4)	11.3	7.13 (3.68) (1.0-19.8)	1.69 (2.00) (0-8.6)	7.7
70'	103.8 (6.9) (88.2-122.5)	124.5	2.18 (2.59) (0-12.7)	10.0	7.95 (3.64) (1.8-19.8)	1.29 (1.16) (0-4.8)	4.8
144'	107.3 (8.8) (91.1-130.6)	133.7	2.44 (2.35) (0-12)	10.1	7.72 (2.95) (1.5-16.1)	1.36 (1.22) (0-5.4)	5.0
288'	113.5 (11.8) (91.4-142)	148.9	3.95 (4.03) (0-15.2)	16.0	7.31 (2.74) (2.6-14)	1.10 (1.05) (0-3.9)	4.3

ULN = Upper Limit of Normal (mean + 3SD).

REFERENCE:

- Chiappa, Keith H., M.D., *Evoked Potentials in Clinical Medicine*
Second Edition, Raven Press, New York.
1990

2. Pielikums

Eye diseases investigated in included studies by type of vision test

Diseases investigated	Vision test				
	Focal ERG	Multifocal ERG	Multifocal VEP	STR	IRF
Age-related macular dystrophy	✓	✓			
Amblyopia	✓				
Aphakic macular oedema	✓				
Autosomal dominant optic atrophy		✓			
Autosomal dominant progressive cone degeneration	✓				
Best's disease	✓				
Branch retinal artery occlusion	✓				
Central serous chorioretinopathy		✓			
Cone dystrophy	✓	✓		✓	✓
Congenital retinoschisis	✓				
Central retinal vein occlusion					✓
Congenital rod monochromacy	✓				
Congenital stationary night blindness				✓	
Decreased visual acuity and hemeralopia	✓				
Diabetes with no retinopathy		✓			
Diabetes mellitus with retinopathy	✓			✓	
Familial cone dystrophies	✓				
Fundus flavimaculatus					✓
Foveal pigment epitheliopathy	✓				
Glaucoma, ocular hypertension	✓	✓	✓	✓	
Groenblad-Staendberg syndrome	✓				
Hydroxychloroquine retinopathy	✓				
Idiopathic central serous chorioretinopathy	✓				
Idiopathic epimacular membrane	✓				
Ischemic optic neuropathy		✓			
Juvenile hereditary macular disease	✓				
Macular chorioretinal scars	✓				
Macular degeneration					✓
Macular hole	✓				
Non-proliferative diabetic retinopathy		✓			
Occult macular dystrophy	✓	✓			
Optic atrophy	✓			✓	
Pattern dystrophy	✓				
Pericentral pigmentary retinal dystrophy	✓				
Retinitis pigmentosa	✓	✓		✓	✓
Scler burn	✓				
Stargard's macular dystrophy	✓	✓		✓	
Temporal retinal ischaemia	✓				
Tumour in sella turcica			✓		
Unexplained visual symptoms or acuity loss	✓				
Vitelliform degeneration	✓				

3.Pielikums

Subjekts: AK. 24 gadi

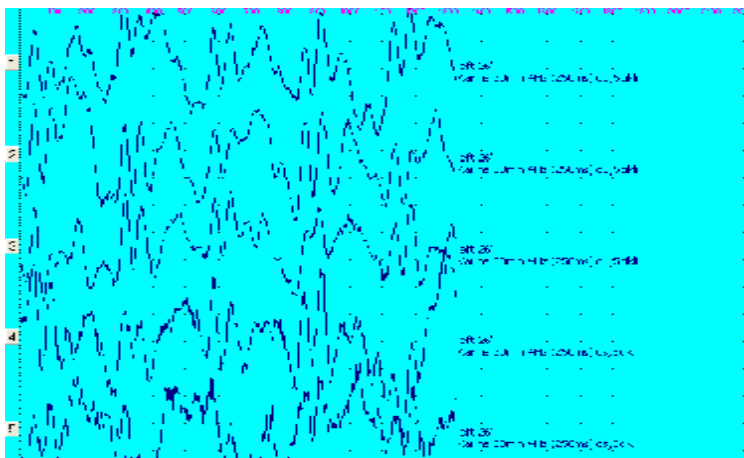
Pirmā eksperimenta daļa. Iegūtas VEP standartlīknes.

Standarta latences

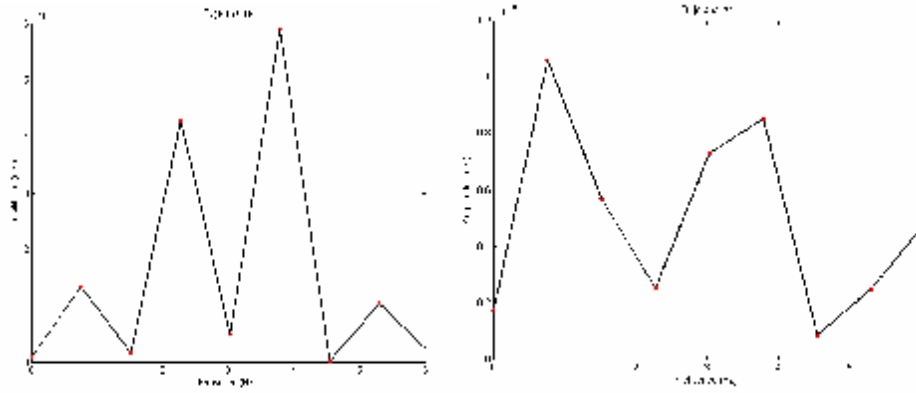
Līkne	Komentāri	N75, ms	P100, ms
7	AK. Binokulāri. 30 loka min stimuls.	55	83
8	AK. Monokulāri – kreisā acs. 30 loka min stimuls.	59	88
9	AK. Monokulāri – kreisā acs. 30 loka min stimuls.	66	91
10	AK. Monokulāri – kreisā acs. 30 loka min stimuls.	58	89
11	AK. Binokulāri. 30 loka min stimuls.	56	87
12	AK. Binokulāri. 30 loka min stimuls.	61	89
13	AK. Binokulāri. 30 loka min stimuls.	57	86

Standarta amplitūdas

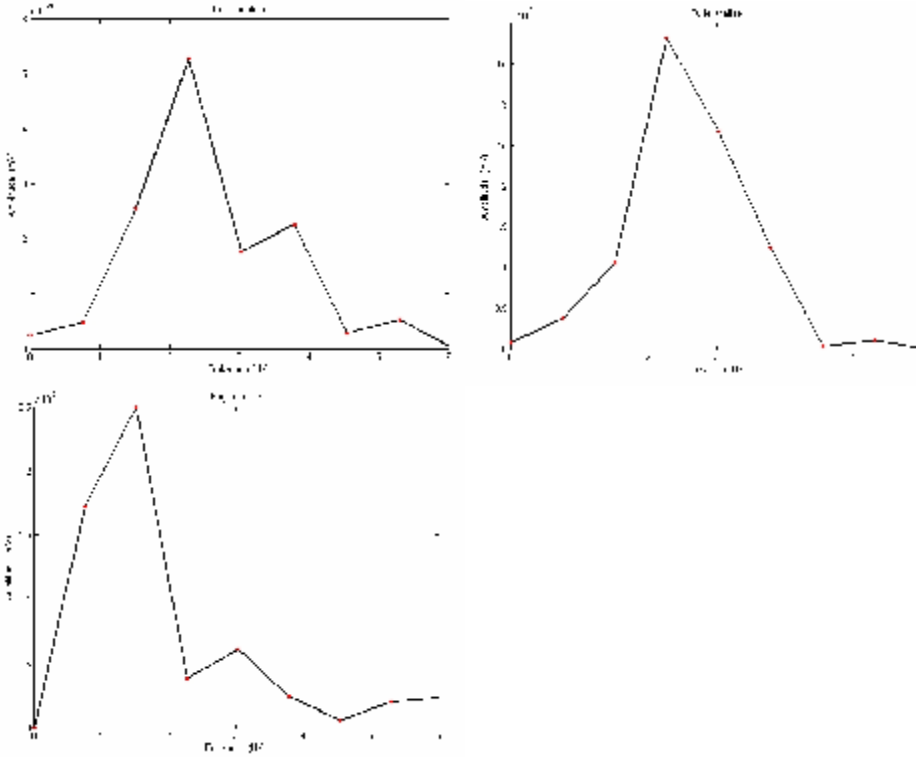
Līknes	Komentāri	N75-100, Amplitūda uV	Dev., %
7	AK. Binokulāri. 30 loka min stimuls.	27,2	+177
8	AK. Monokulāri – kreisā acs. 30 loka min stimuls.	21,7	+122
9	AK. Monokulāri – kreisā acs. 30 loka min stimuls.	14,4	+46.7
10	AK. Monokulāri – kreisā acs. 30 loka min stimuls.	23,4	+138
11	AK. Binokulāri. 30 loka min stimuls.	27,8	+184
12	AK. Binokulāri. 30 loka min stimuls.	15.5	+58.4
13	AK. Binokulāri. 30 loka min stimuls.	25.6	+161



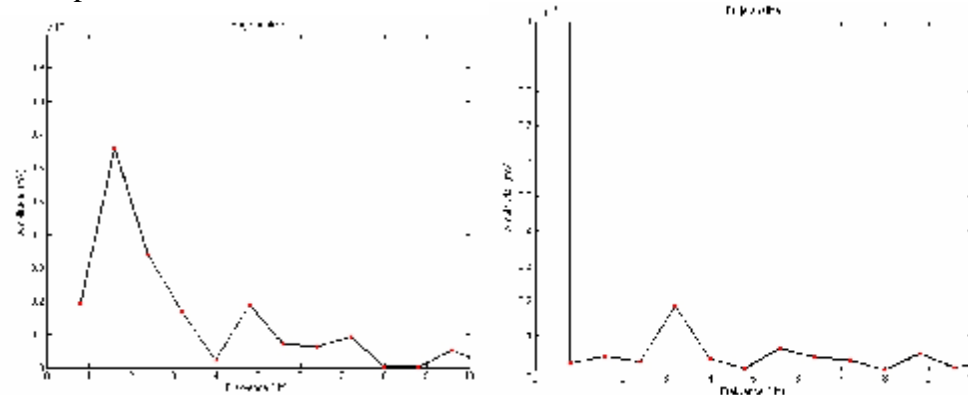
Binokulārās standarta līknes



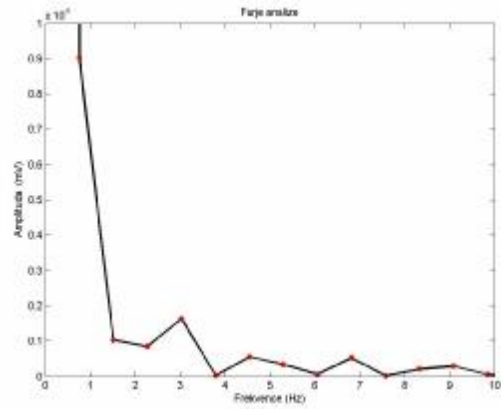
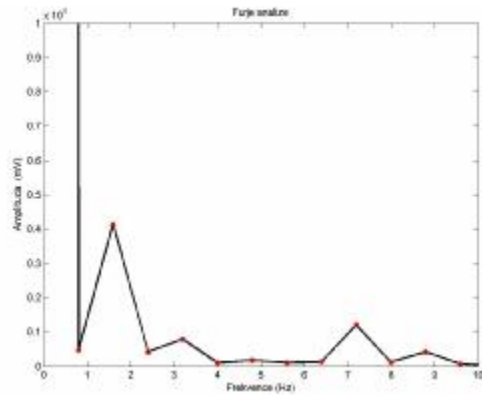
Monokulārās standarta līknes. Kreisās acs pieraksts.



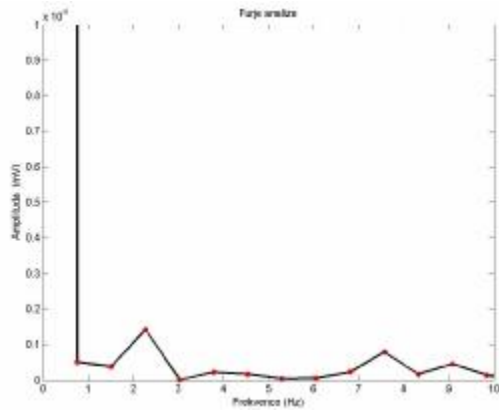
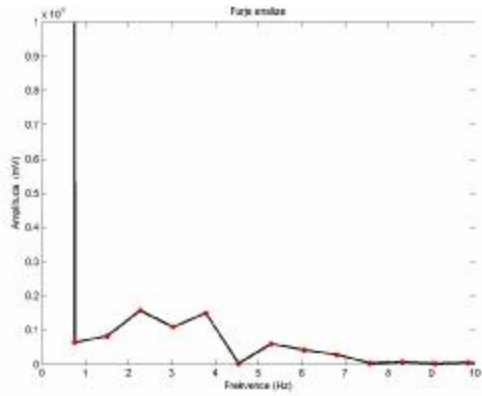
Otrais eksperiments. Snellena E burts.
Stereo pieraksti. Snellena E burts



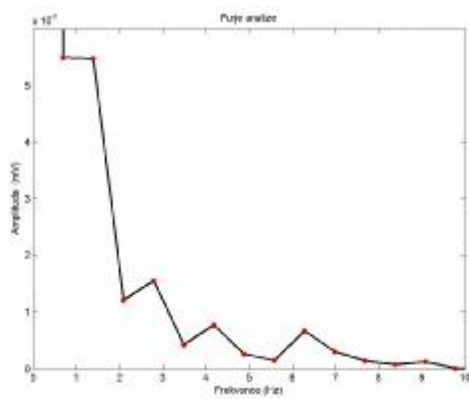
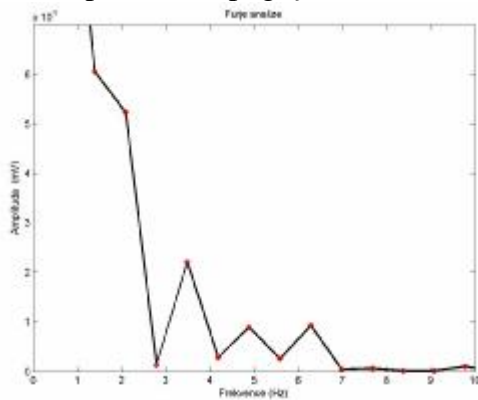
Nestereo pieraksti. Snellena E burts



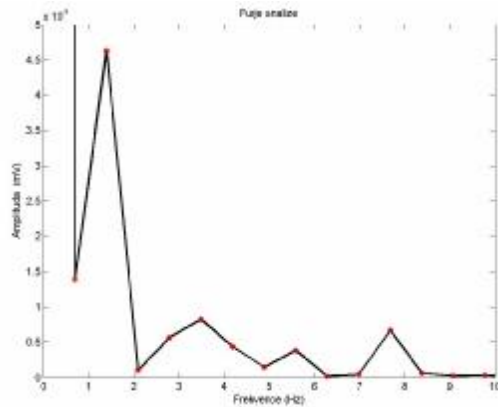
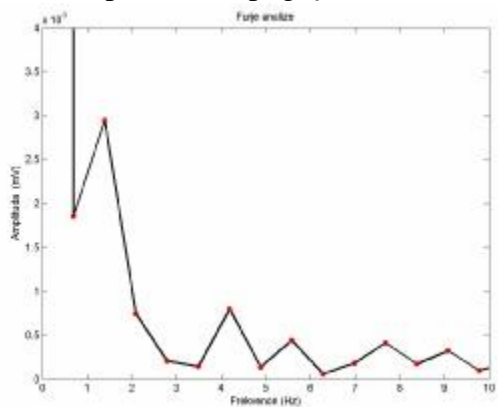
Monokulārie pieraksti. Snellena E burts



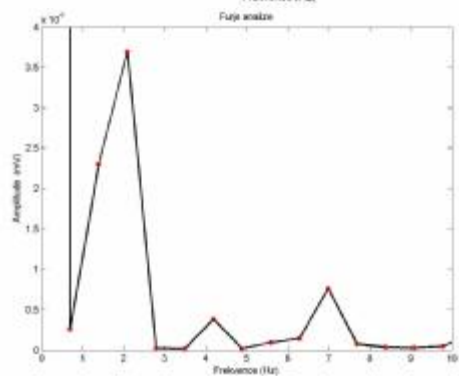
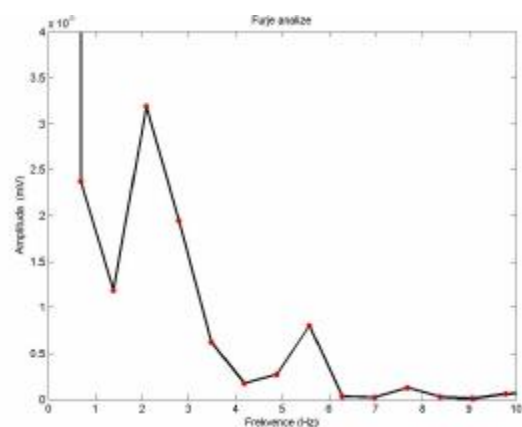
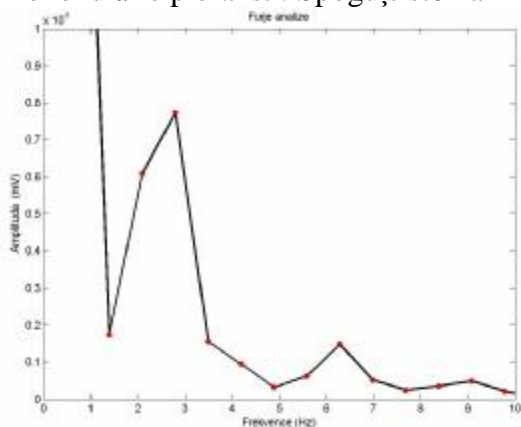
Trešais eksperiments.
Stereo pieraksti. Spoguļsistēma



Nestereo pieraksti. Spoguļsistēma



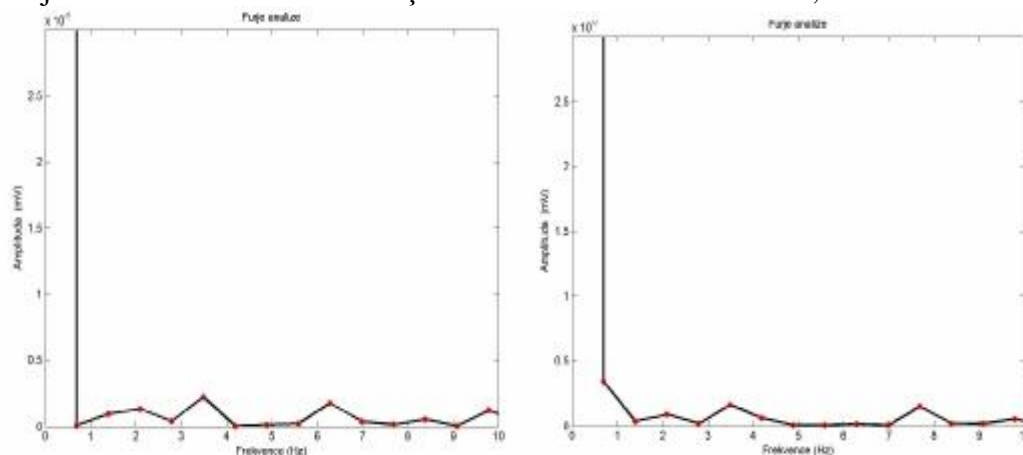
Monokulārie pieraksti. Spoguļsistēma



4. Pielikums

Subjekts. IG. 27 gadi.

Subjektam mērītas VEP smadzeņu aktivitātes ar aizvērtām acīm, nerādot redzes stimulu.

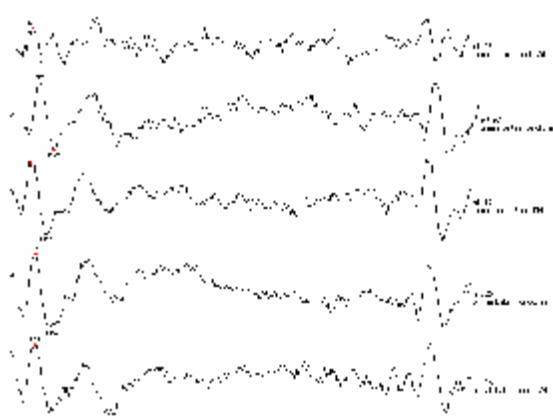


Pirmā eksperimenta daļa. Iegūtas VEP standartlīknes.
Standarta latences.

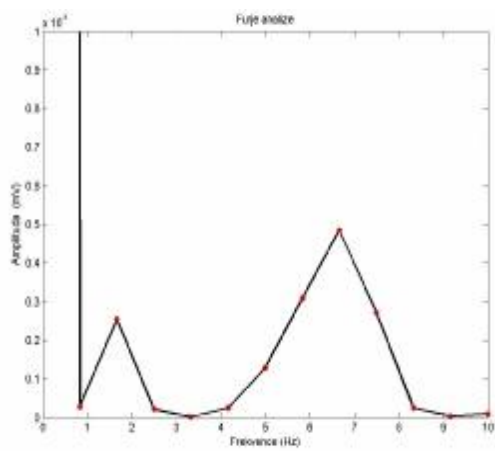
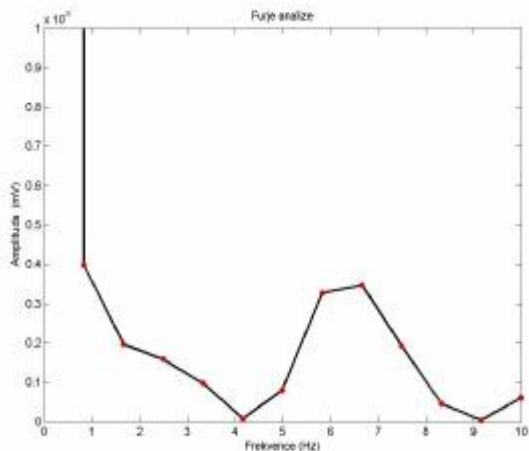
Līkne	Komentāri	N75	P100	kļūda
1	Gatis 30 balti melns	38	64	2-3ms
2	pirmais melns. binokulāri	44	69	2-3ms
3	pirmais baltais. binokulāri	41	78	2-3ms
4	pirmais balts. Binokulāri	39	79	2-3ms
5	pirmais balts. monokulāri	48	92	2-3ms
6	pirmais balts. monokulāri	46	94	2-3ms

Standarta amplitūdas.

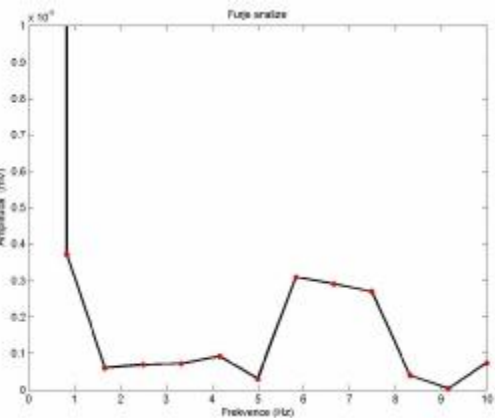
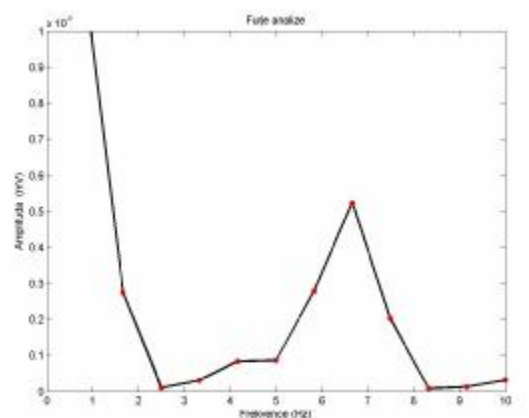
Līkne	Komentāri	N75-P100, amplitūda uV(/)	kļūda
1	Gatis 30 balti melns	6.43	1 mikroV
2	pirmais melns. binokulāri	4.68	1 mikroV
3	pirmais baltais. binokulāri	10.6	1 mikroV
4	pirmais balts. Binokulāri	11.5	1 mikroV
5	pirmais balts. monokulāri	11.8	1 mikroV
6	pirmais balts. monokulāri	10.8	1 mikroV



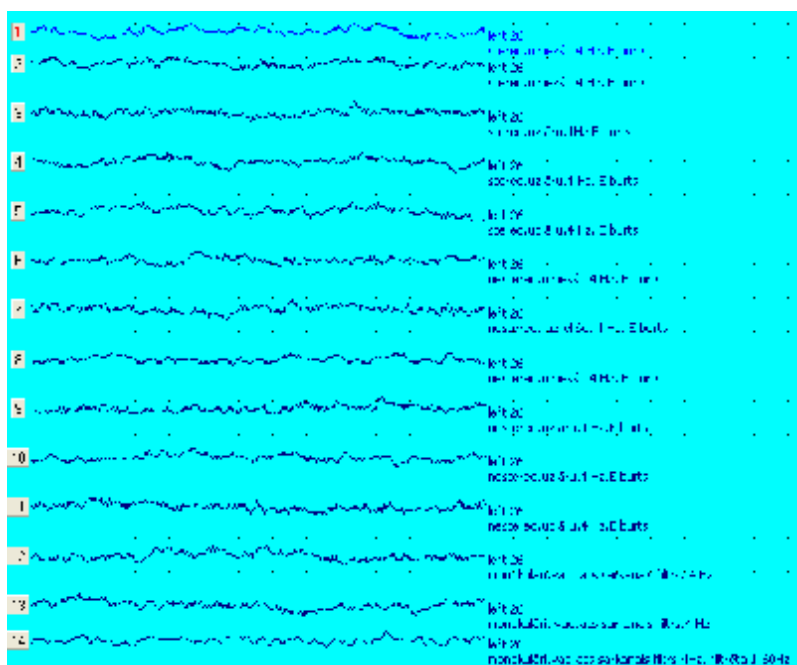
Binokulārās standarta līknes



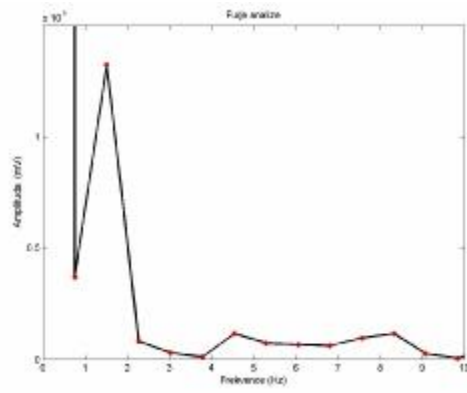
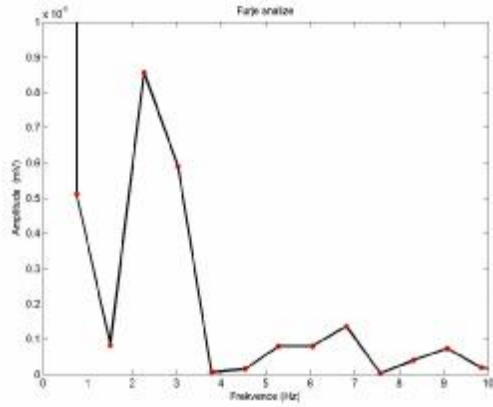
Monokulārie standarta pieraksti. Labās acs pieraksts.



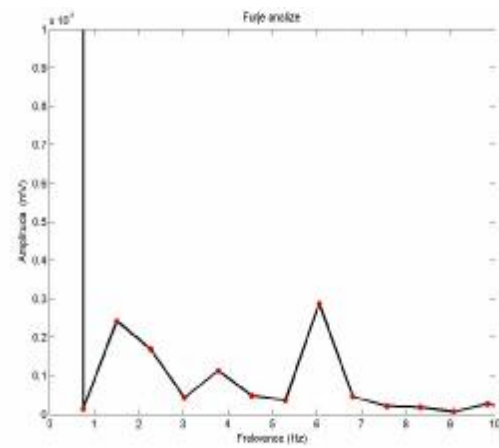
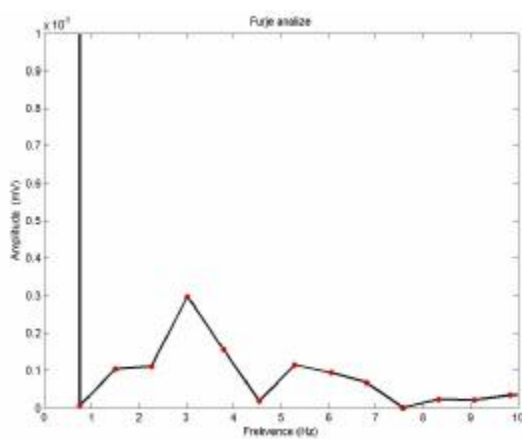
Ekspimenta otrā daļa. Snellena E burts. Stereo



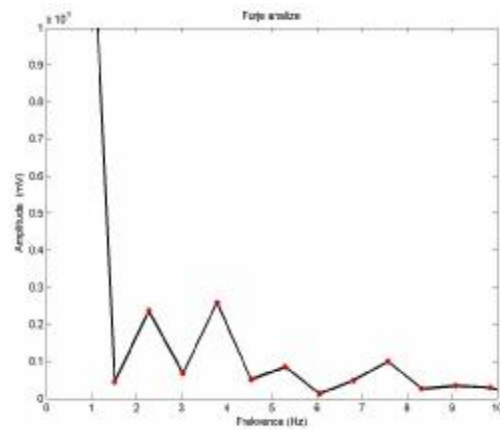
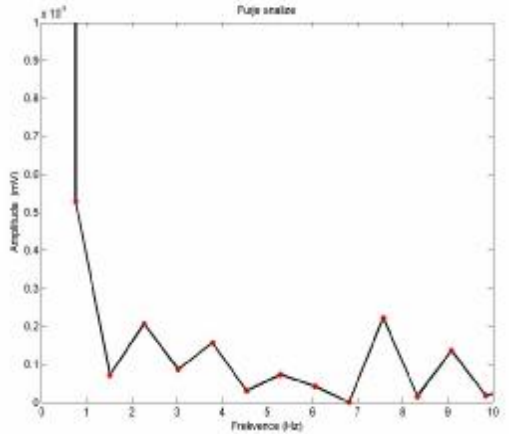
Stereo pieraksti. Snellena E burts



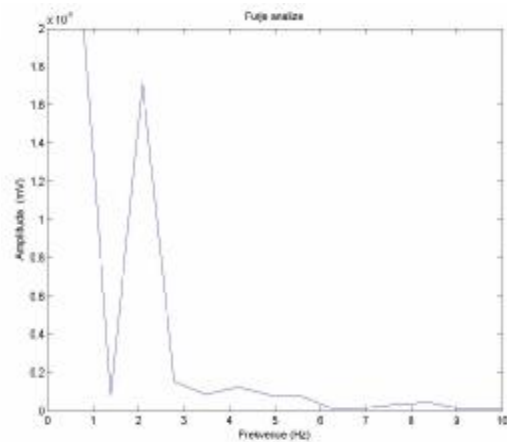
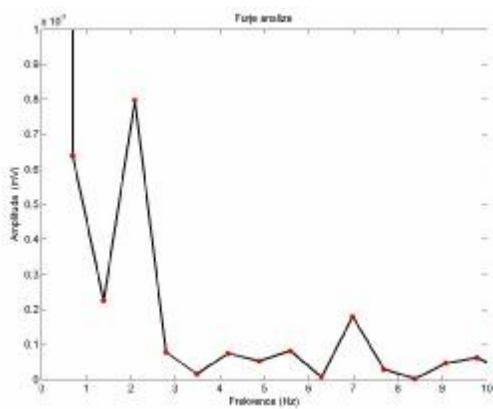
Nestereo pieraksti. Snellena E burts



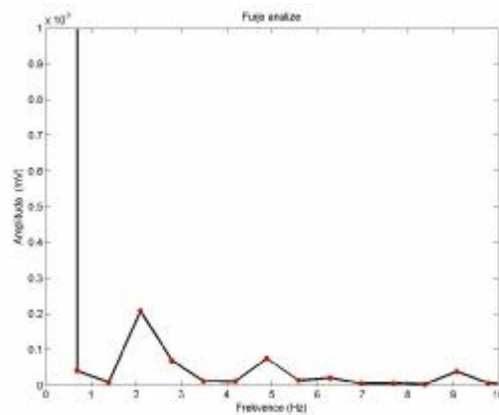
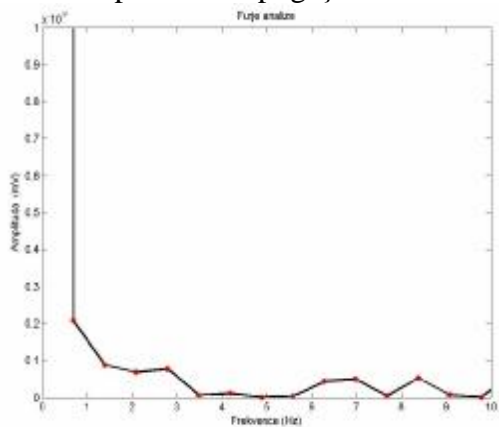
Monokulārie pieraksti. Snellena E burts



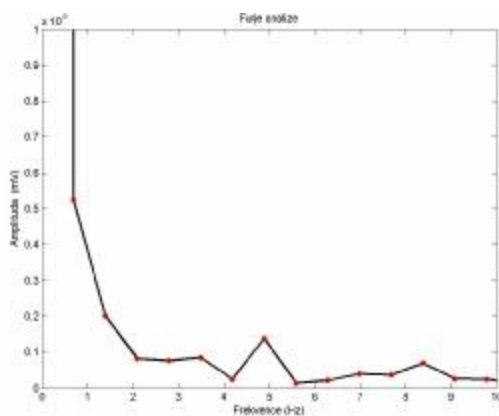
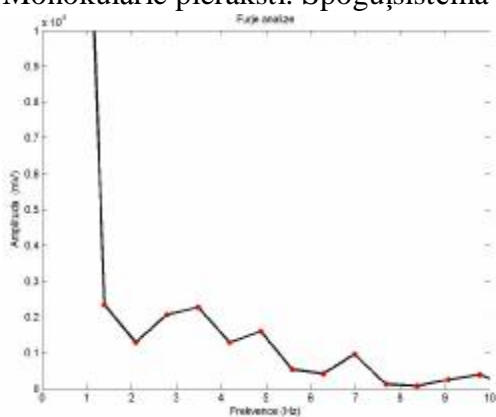
Trešais eksperiments.
Stereo pieraksti. Spoguļsistēma



Nestereo pieraksti. Spoguļsistēma



Monokulārie pieraksti. Spoguļsistēma



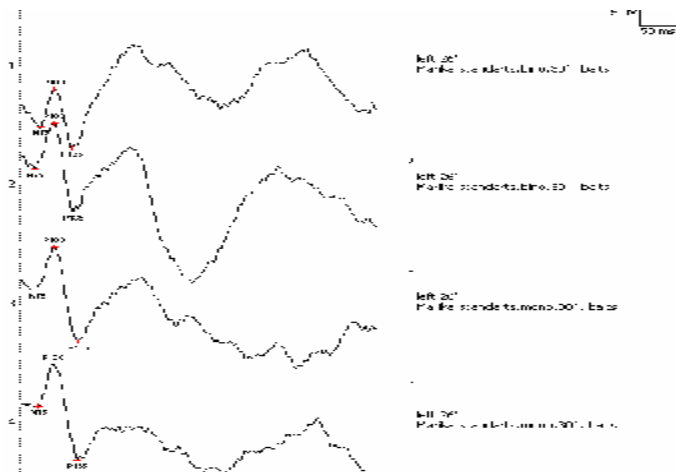
5. Pielikums

Pielikums.

Subjekts. AM. 34 gadi.

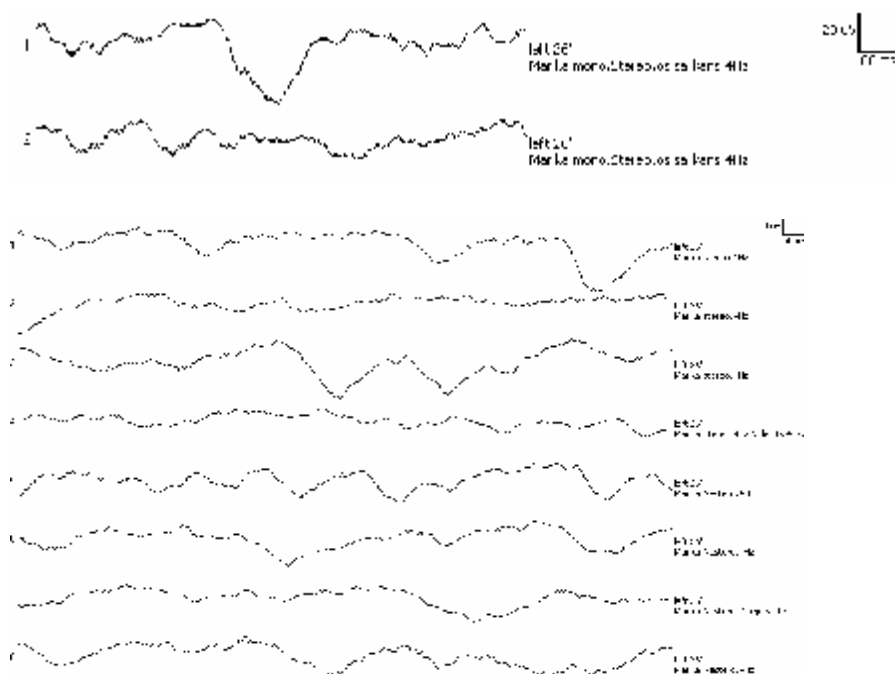
Pirmā eksperimenta daļa.

Iegūtās standartlīknes.

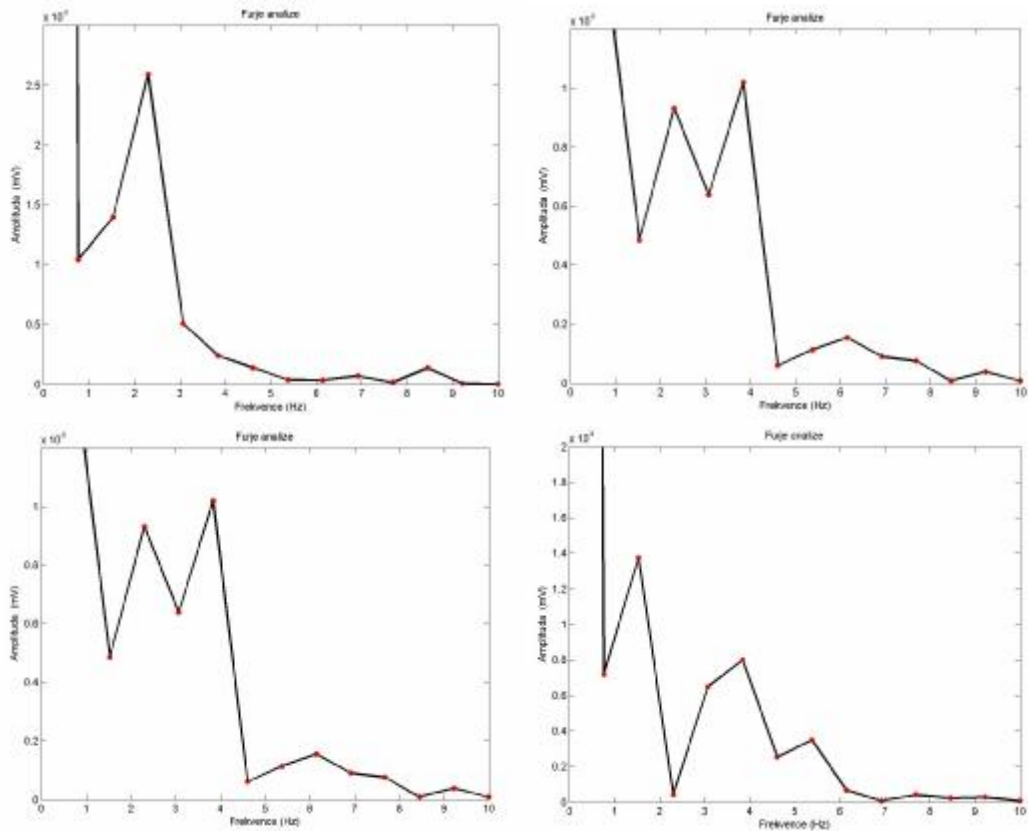


Līkne	Komentāri	N75, ms	P100, ms	Amplitūda, uV
1	Marika.standarts.bino.30 \ balts	27	45	8.01
2	Marika.standarts.bino.30 \ balts	19	45	9.89
3	Marika.standarts.mono.30 \ balts	21	45	9.17
4	Marika.standarts.mono.30 \ balts	23	44	9.09

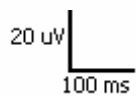
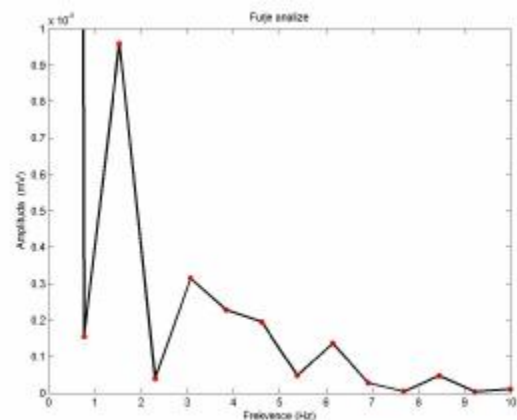
Otrā eksperimentālā daļa.



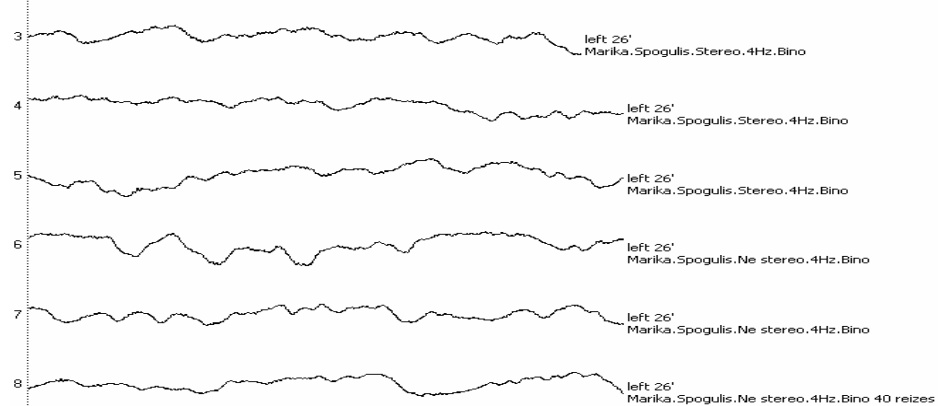
Stereo pieraksti. Snellena E burts



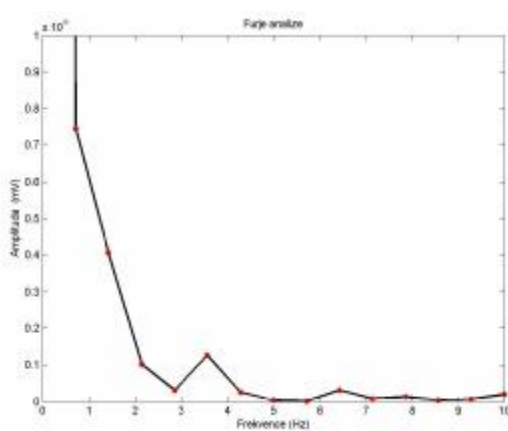
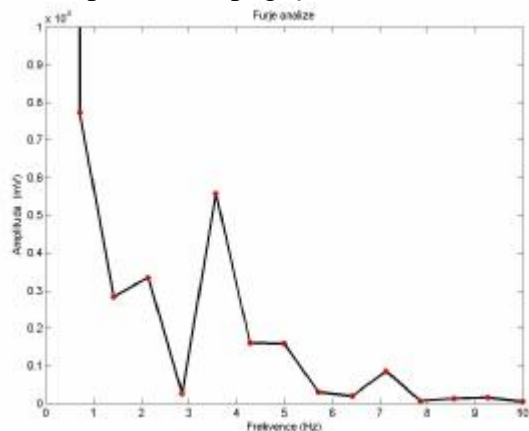
Nestereo pieraksti. Snellena E burts



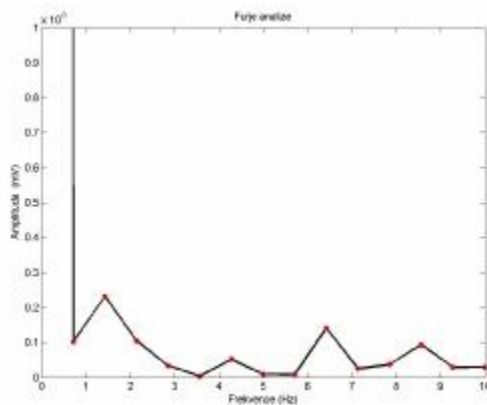
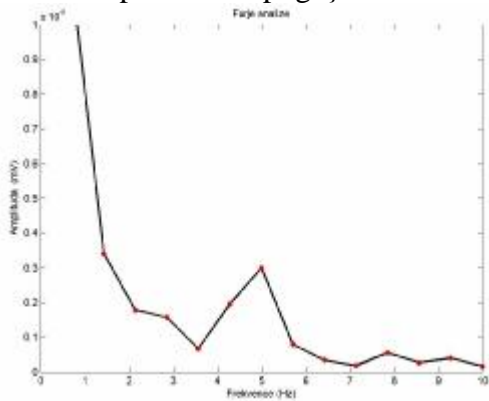
Trešā eksperimenta daļa.



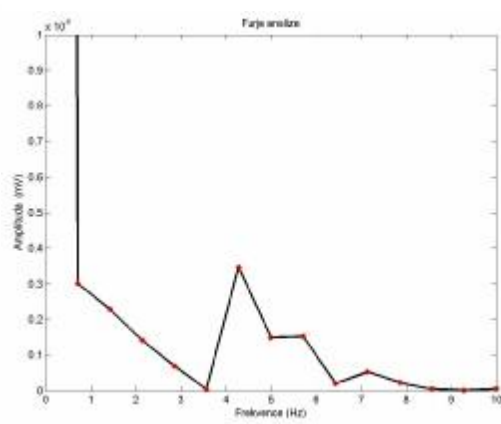
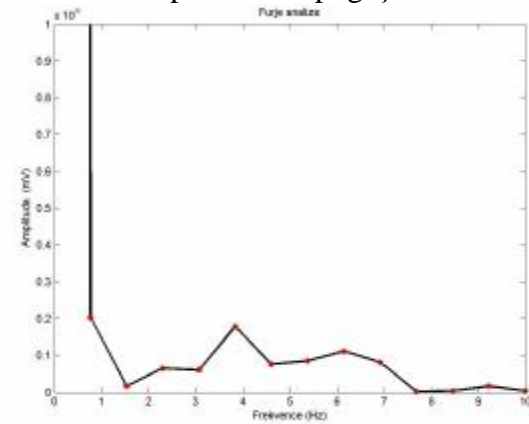
Stereo pieraksti. Spoguļsistēma



Nestereo pieraksti. Spoguļsistēma



Monokulārie pieraksti. Spoguļsistēma



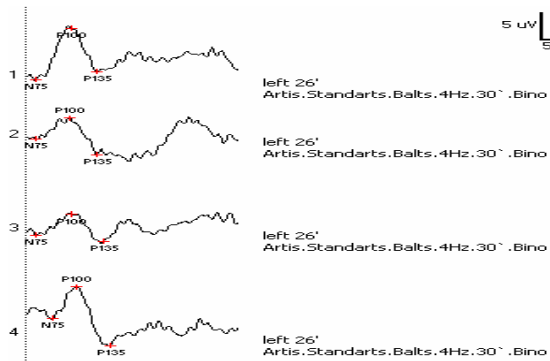
6.Pielikums

Pielikums.

Subjekts. AP. 29 gadi.

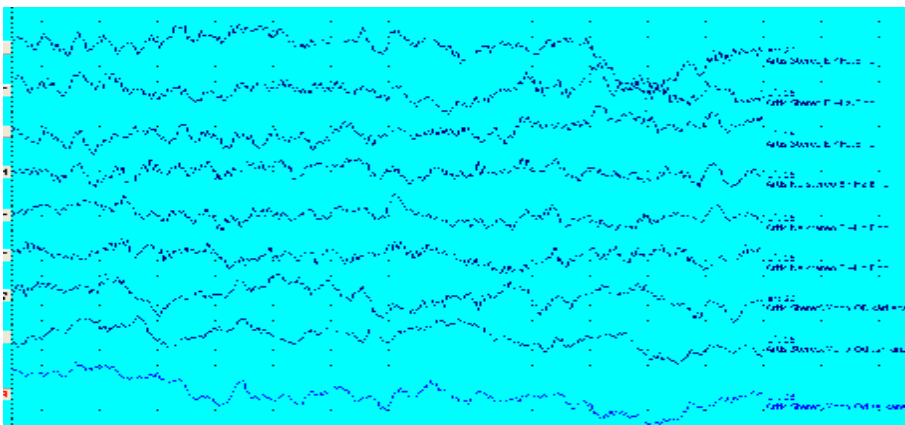
Pirmā eksperimenta daļa.

Iegūtās standartlīknes.

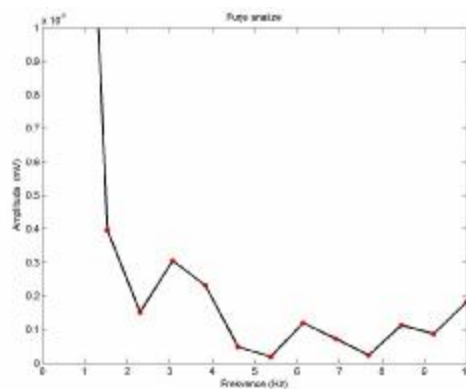
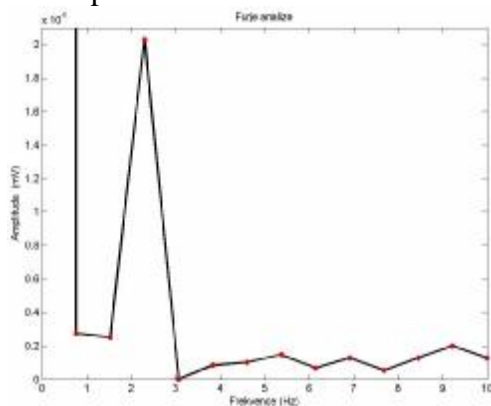


Līkne	Komentāri	N75, ms	P100, ms	Amplitūda, uV
1	Artis.Standarts.Balts.30° .Bino	9	43	9.62
2	Artis.Standarts.Balts.30° .Bino	9	41	3.99
3	Artis.Standarts.Balts.30° .OD	9	44	4
4	Artis.Standarts.Balts.30° .OD	25	49	5.99

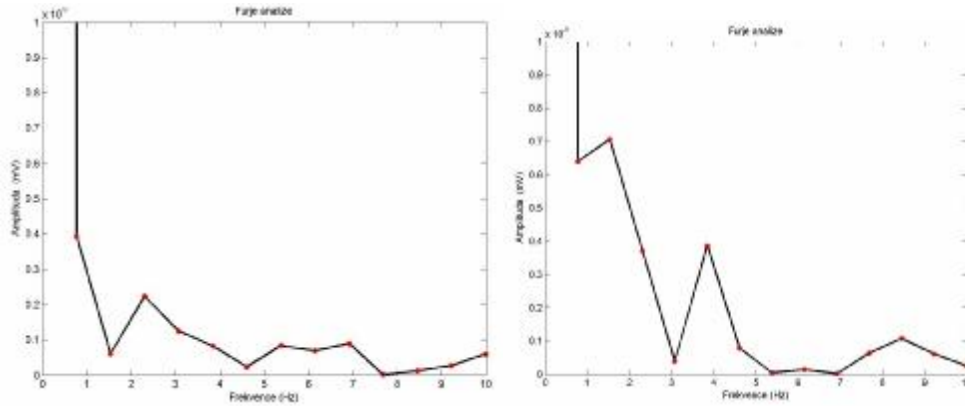
Eksperimenta otrā daļa.



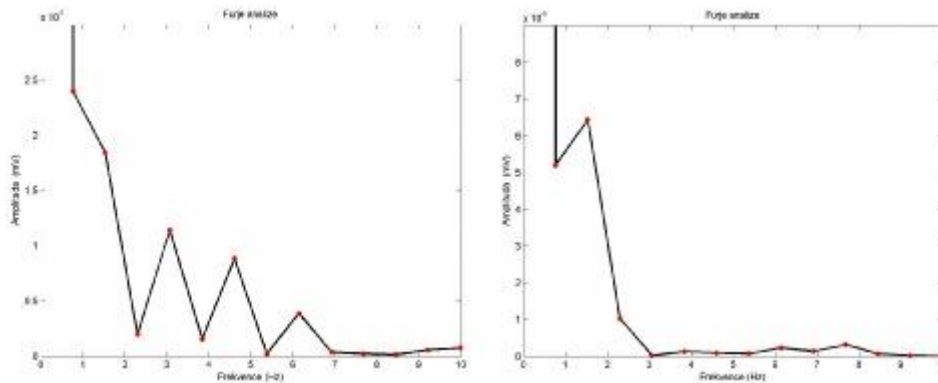
Stereo pieraksti. Snellena E burts



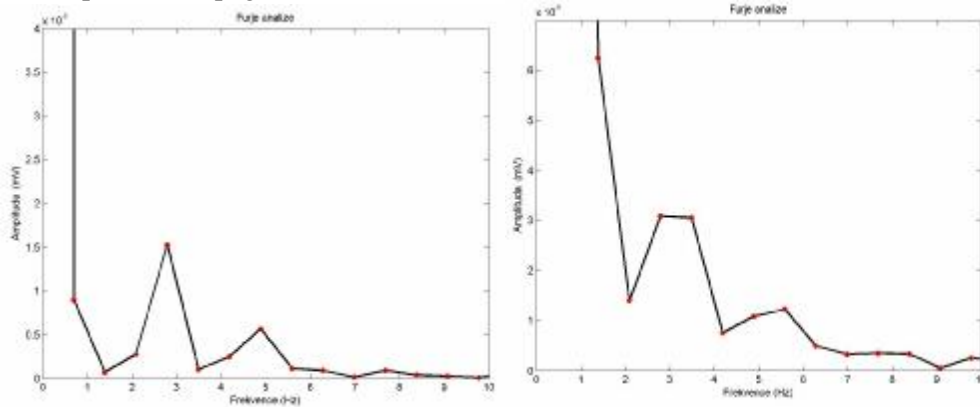
Nestereo pieraksti. Snellena E burts



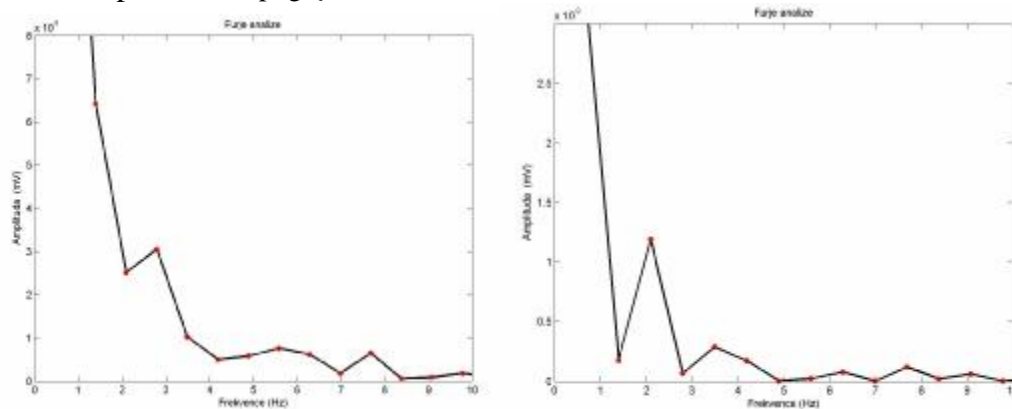
Monokulārie pieraksti. Snellena E burts



Trešais eksperiments.
Stereo pieraksti. Spoguļsistēma



Nestereo pieraksti. Spoguļsistēma



Maģistra darbs izpildģts Latvijas Universitģtes Fizikas un Matemģtikas fakultģtes Optometrijas un Redzes Zinģtnes nodaģģ.

Latvijas Universitģtes Fizikas un Matemģtikas fakultģtes Optometrijas maģistra studiju programma.

Studente Karģna Aņisko (stud. apl. Nr. Opto 000008)

..... 2006. gada . jģnijģ

Darba vadģtģjs, Dr. Phys. Gunta Krģmiņa

..... 2006. gada . jģnijģ

Maģistra darbs aizstģvģts valsts eksģmenu komisijas Nr.

2006. gada sģdģ ar atzģmi

Optometrijas maģistra pģrbaudģjuma komisija (pavģle Nr.)

Sekretģrs: (Doc. P. Cikmačs)

