

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**GAISMAS IZKLIEDES IETEKME UZ
ELEKTRORETINOGRAMMU**

BAKALaura DARBS

Autore: Zanda Meškovska

Stud. apl. zm08032

Darba vadītājs: pētnieks, Dr. phys. Gatis Ikaunieks

RĪGA 2011

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, datorsalikumā uz 45 lappusēm. Darbs satur 23 attēlus, 1 formulu un 42 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis: Noskaidrot optisko (gaismas izkliede, absorbcija) un neirālo faktoru ietekmi uz elektrotretinogrammu paaugstinātas intraokulārās gaismas izklijes apstākļos

Subjekti: Pētījumā piedalījās 7 dalībnieki, vecuma grupā no 20 līdz 22 gadiem, ar anatomiski veselu acs lēcu, tīkleni un citām acs struktūrām. Pētījuma dalībnieku monokulāras redzes asums bez korekcijas bija robežās no 1,08 līdz 1,17 decimālajā sistēmā.

Metode: Elektrotretinogrammas reģistrēšanai tika izmantota standarta elektrotretinogrāfijas metode, kā stimulu izmantojot spilgtu gaismas zibsnī pie mainīgām intensitātēm. Kataraktas simulācija tika panākta, acs priekšā novietojot gaismu izklijējošu filtru.

Rezultāti un to analīze: tika novērota ERG atbildes latenču palielināšanās, samazinoties stimula intensitātei. Amplitūdas atkarībā no stimula gaismas intensitātes uzrādīja gan pieaugumu, gan samazinājumu. Pieliekot acs priekšā filtru, elektrotretinogrammas amplitūdas bija augstākas, nekā mērījumos bez filtra. Amplitūdas samazinājums, pieaugot stimula intensitātei, skaidrojams ar „fotopiskā kalna” efektu.

Secinājumi: Izveidotais filtrs ļauj simulēt negatavu kataraktu, kuras gadījumā novērojamas lielākas amplitūdas, kas skaidrojamas ar gaismas izklijes pieaugumu. Fotopiskos apstākļos ERG amplitūdas atkarībā no stimula intensitātes mainās nelineāri, attēlojot „fotopiskā kalna” efektu – pie vājām un spožām intensitātēm ir novērojamas zemākas amplitūdas nekā pie vidējām. Palielinātas amplitūdas mērījumos ar gaismu izklijējošiem filtriem ir skaidrojamas ar tīklenes neirālās jutības izmaiņām, mainoties stimula intensitātei.

Atslēgas vārdi: elektrotretinogrāfijas metode (ERG), gaismas izkliede, katarakta, gaismu izklijējošs filtrs.

ABSTRACT

The Bachelor Thesis “Influence of scattering of light on the electroretinogram” is written in Latvian, contains 45 printed pages, 23 figures, 1 formula and 42 references to other works.

The aim: Determine the role of optical (straylight, absorption) and neural factors on electroretinogram at high intraocular straylight conditions.

Subjects: Seven subjects aged 20-22 years old with an anatomically good lens and retina and others structures of the eye, without vision correction underwent ERG recordings. Subject's monocular visual acuity without correction was 1.08-1.17.

Methods: the electroretinographic method was used to register the electroretinogram. Mini-Ganzfeld dome was used to show stimuli, photopic flash ERG response was recorded for different stimulus intensities. To simulate condition of cataract light scattering filter was placed in front of the eye.

Results and analysis: The relationship between amplitude and latencies in dependence of light intensity was measured. ERG amplitude measured with filter in average was higher than in normal condition. The decrease of ERG amplitude by increasing light intensity is dependant of photopic hill effect.

Conclusion: The filter that was made to simulate cataract describe unready cataract type. The amplitude of b-wave was slightly increased in measurements with filter. B-wave amplitude increased with decreasing of stimulus intensity and is explained by phenomenon of photopic hill. Amplitudes which were measured with filter in average were higher than in normal condition. The role of neural factors is much more important in forming ERG response than optical factors, such as straylight or absorption.

Key words: Electroretinography method (ERG), straylight, cataract, light diffusing filter.

SATURS

Ievads	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	3
1.1. Elektoretinogrāfijas metode	3
1.1.1. Elektoretinogrāfija.....	3
1.1.2. Elektoretinogramma	4
1.1.3. Elektrodi, to novietojums	5
1.1.4. Elektoretinogrāfijas stimuli	7
1.1.5. Gaismas un tumsas adaptācijas ietekme uz elektoretinogrammu	8
1.2. Katarakta.....	9
1.2.1. Kataraktas veidi	9
1.2.2. Kataraktas veidu klasifikācija.....	10
1.2.3. Kataraktas izplatība	11
1.2.4. Kataraktas simptomātika	12
1.2.5. Kataraktas novērtēšanas metodes	13
1.3. Acī „noklīdusī” gaisma.....	14
1.4. Pētījumu pārskats pār gaismas izkliedes ietekmi uz elektoretinogrammu ..	16
1.5. Literatūras pārskata secinājumi	18
2. PRAKSTISKĀ DAĻA	19
2.1. Darba mērķis un uzdevumi.....	19
2.2. Pētījuma dalībnieki	19
2.3. Aparatūra	19
2.4. Pētījumā izmantotās mērvienības	20
2.5. Pētījuma metodika	21
2.5.1. Filtru izveide un novērtēšana.....	21
2.5.2. Elektoretinogrāfijas ieraksts	23
2.6. Datu apstrāde	24
2.7. Rezultāti un to analīze	25
2.7.1. Latences lielumu novērtēšana.....	25
2.7.2. ” Fotopiskais kalns”	27

2.7.3. Rezultāti mērījumiem ar gaismu izkliedējošo filtru	30
Secinājumi	34
Nobeigums	35
Pateicības	36
Izmantotā literatūra.....	37

Ievads

Pasaulei attīstoties, uzlabojas arī cilvēku dzīves kvalitāte un ikdienas apstākļi. Pieaugot dzīves līmenim attīstītajās valstīs, par visstraujāk augošo populācijas daļu ir kļuvuši iedzīvotāji virs 40 gadiem. Kā liecina EUROSTAT (the Statistical Office of the European Community) dati, tad laika periodā no 2000 līdz 2030. gadam iedzīvotāju skaits vecumā virs 70 gadiem pieaugs par 48% Vācijā, 55% Šveicē un 80% Nīderlandē.[1] Neatņemama mūsdienu cilvēka dzīves sastāvdaļa kļuvusi auto vadīšana. Ja salīdzina autonegadījumu statistikas rādītājus, tad cilvēkiem gados tie ir pat četras reizes augstāki nekā jaunākiem cilvēkiem.[2] Kā liecina vairāki pētījumi, tad visizplatītākais autoavāriju iemesls ir tieši redzes kvalitātes samazināšanās, ko šajā vecumā nereti izraisa katarakta. Ir pētījumi, kas atklāj, ka kataraktas gadījumā vispār nebūtu ieteicam vadīt automašīnu[3]. Galvenais iemesls, kāpēc kataraktas gadījumā samazinās redzes kvalitāte, ir palielināts gaismas izkliedes daudzums, kas rada neskaidras attēla robežas, samazina kontrasjutību, rada krāsu redzes traucējumus un pastiprina žilbšanu.

Svarīgi mācēt noteikt redzes kvalitāti ne tikai pieaugušiem cilvēkiem, bet arī maziem bērniem. Redzes pasliktinājums pirmajos dzīves mēnešos spēj atstāt paliekošu ietekmi uz visu turpmāko bērna attīstību. Kā vienu no redzes sistēmas patoloģijām jaundzimušajiem var minēt iedzimto kataraktu, kas neārstēta vai vēlu operēta spēj radīt ambliopiju vai šķielēšanu. Nekoriģēta ambliopija ir viens no biežākajiem monokulārās redzes akluma cēloņiem bērnu vidū[4]. Liela daļa testu, kas palīdz noteikt gaismas izkliedes ietekmi uz redzes funkcijām, nav piemēroti bērniem, jo ir balstīti uz subjektīvām atbildēm.

Viena no objektīvākajām metodēm, ar kuru būtu iespējams novērtēt gaismas izkliedes ietekmi uz redzi, ir eletroretinogrāfija (ERG). ERG tiek primāri lietota, lai spriestu par tīklenes stāvokli [5]. Elektoretinogrāfija tiek uzskatīta par objektīvu metodi, jo nav nepieciešama atbilde no pacienta. Ar šīs metodes palīdzību mērījumi var tikt veikti jau no pirmās bērna dzimšanas dienas.

Skatoties no optiskā viedokļa, elektoretinogrāfijas atbildei kataraktas gadījumā vajadzētu samazināties, jo lielāks gaismas daudzums tiek absorbēts vai atstarots no necaurspīdīgās lēcas. Taču ir pētījumi, kas pierāda, ka kataraktas gadījumā tīklenes sniegtajai atbildei ir augstāka amplitūda. Pētot dažādus literatūras avotus un jaunākos pētījumus, valda neviennozīmīgi uzskati par ERG atbildi ietekmējošiem faktoriem. Šī fenomena iemesls vēl joprojām nav pilnībā izpētīts. Pētījumi šajā jomā ir veikti jau vairākus gadu desmitus, sākot no 1966.gada, kad pētījumus šajā jomā sākuši *Burien & Burns* [6]. Pētot acis pirms un pēc kataraktas operācijas un iegūstot lielākas ERG amplitūdas pirms nekā pēc kataraktas

operācijas, *Burien & Burns* izvirzīja hipotēzi, ka lēca ar kataraktu strādā kā izkliedējošs filtrs, palielinot „noklīdušās” gaismas daudzumu [6]. *Michael Bach*, meklējot izskaidrojumu neparastajam fenomenam, pētījis tādus faktorus kā defokuss un gaismas izkliede. Pētījums parādīja, ka gaismu izkliedējošs filtrs, novietots priekšā acij, būtiski pasliktina elektrotinogrammu, pat vairāk nekā optiskais apmieglojums [7]. Jaunāki pētījumi savukārt atklāj, ka ERG atbildes pieaugums kataraktas gadījumā raksturīgs tikai pie specifiskiem adaptācijas apstākļiem [8]. Atbilde uz jautājumu: kāpēc tieši šādos apstākļos ERG iegūtā atbilde ir augstāka nekā citos, paliek neatbildēta.

Bakalaura darba mērķis ir noskaidrot optisko (gaismas izkliede, absorbcija) un neirālo faktoru ietekmi uz elektrotinogrammu paaugstinātas intraokulārās gaismas izklijes apstākļos

Darba uzdevumi:

1. Izveidot gaismu izkliedējošo filtru kataraktas simulācijai.
2. Noteikt, kā mainās ERG amplitūdas pie dažādām stimula intensitātēm.
3. Veikt ERG mērījumus simulētas kataraktas gadījumā, acij priekšā novietojot gaismu izkliedējošo filtru, pie dažādām stimula gaismas intensitātēm.
4. Novērtēt gaismas izklijes un absorbcijas ietekmi uz elektrotinogrammu mērījumos ar gaismu izkliedējošo filtru.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

1.1. Elektroretinogrāfijas metode

1.1.1. Elektroretinogrāfija

Elektroretinogrāfija (ERG) ir tests, kas tiek plaši izmantots elektrofizioloģijā, lai novērtētu acs tīklenes stāvokli. Tests tiek veikts, lai diagnosticētu dažādus tīklenes traucējumus, un nereti tiek izmantots acs operācijas nepieciešamības noteikšanai.[9] Ar ERG palīdzību iespējams noteikt tādu tīklenes traucējumus kā tīklenes distrofiju, mukopolisaharidozi, tīklenes atslāņošanos, iedzimto retinošīzi, saindēšanos ar dzelzi, arteriosklerozi, iedzimtu nakts aklumu, vitamīna A deficītu u.c.[10]

1989. gadā *International Society for Clinical Electrophysiology of Vision* (ISCEV) izstrādāja standartu protokolam, strādājot ar ERG. ISCEV mērķis, izstrādājot vienotu standartu, bija sekmēt un paplašināt zināšanas par redzes elektrofizioloģijas metodēm, kā arī veicināt komunikāciju un sadarbību starp strādājošajiem šajā jomā starptautiskā līmenī. Standarts darbam ar elektroretinogrāfiju tiek regulāri atjaunots, jo attīstās tehniskais nodrošinājums un zināšanas. 2008. gadā tika izstrādāts jaunākais ISCEV standarts, kas definē fona gaismu, stimula zibšņa ilgumu un ERG aparatūras aprīkojumu. [11]

Elektroretinogrāfijas metode ļauj objektīvi izmeklēt jaundzimušos, kam mērījumi tiek veikti ar plakstu vai radzenes elektrodu palīdzību. Kā stimuls bieži tiek izmantots Ganzfelda kupols, ko iespējams pārvietot vai novietot virs guļošā pacienta.[12]

ERG atbilde rodas no ekstracelulārās strāvas, kas tiek ģenerēta kā atbilde uz gaismas stimulu. Oftalmiskajā klīnikā ERG atbilde lielākoties sastāv no negatīvā a- viļņa un pozitīvā b-viļņa, taču eksistē arī citu veidu viļņi.[9]

Veicot ERG mērījumu, zīlītēm būtu jābūt maksimāli paplašinātām. Mērot adaptāciju tumsas apstākļiem, pacientam būtu jāpavada adaptējoties tumsai vismaz 20 min, bet gaismas adaptācijai – 10 min. Kā fiksācijas punkts būtu jānorāda stimula centrs, lai panāktu, ka gaismas zibsnis vienmērīgi izgaismo tīklieni.[11] Apkārtējai videi mērījumu laikā būtu jābūt izolētai no iespējamiem elektrisko trokšņu avotiem, tādiem kā fluorescentās gaismas, dažādiem elektriskiem aprīkojumiem un iekārtām. Pēc elektrodu uzstādīšanas tiek salīdzināta impedance un bāzes signāls, lai novērtētu apkārtējos trokšņus un acu kustību rezultātā radītās novirzes. ERG radītais signāls, salīdzinot ar „trokšņiem”, nākošiem no sirds, muskuļiem vai smadzenēm, ir vājš, bet lielāks nekā iegūtais signāls citā elektrofizioloģijas metodē – redzes izsauktie potenciāli (VEP).[13]

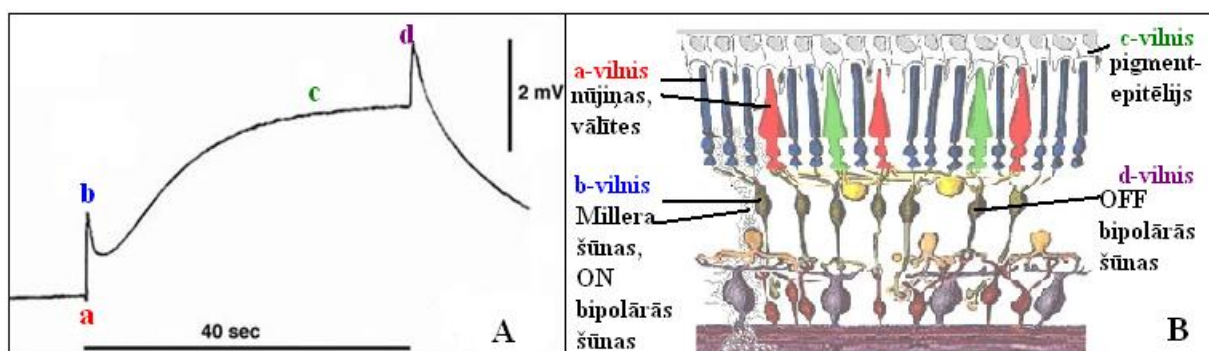
1.1.2. Elektroretinogramma

ERG līkne jeb elektroretinogramma ir gaismas ierosināts acs elektriskās aktivitātes pieraksts. *Gotch* (1903) bija pirmais, kas ziņoja, ka acs atbilde uz gaismas stimulu sastāv no vairākiem viļņiem[9].

A-vilnis ir negatīvā daļa, kas parādās tūlīt pēc gaismas stimula sākšanās un attēlo fotoreceptoru stāvokli [12]. L-glutamāts ir fotoreceptoru neurotransmiters, kas efektīvi bloķē sinaptisko pānesi no fotoreceptoriem un izolē tieši fotoreceptoru ieguldījumu ERG atbildē[9].

B-vilnis jeb pozitīvā daļa parāda tīklenes dziļākos slāņus, ietverot ON bipolarās šūnas un Millera šūnas [12]. Centieni pierādīt b-viļņa izcelsmi no potenciālu maiņas Millera šūnu membrānās, attēloti vairākos pētījumos [9].

Pastāv vēl divu veidu viļņi – c-vilnis un d-vilnis, kas ERG pierakstos uzrādās reti. C-viļņa izcelsme meklējama pigmentepitēlijā un d-vilnis attēlo OFF bipolaro šūnu aktivitāti[12]. Pigmentepitēlija šūnas ir funkcionāli asimetriskas attiecībā pret bazālo membrānu (tuvāk dzīslenei), kas laiž cauri mazāk kālija jonus nekā apikālā membrāna (tīklenes pusē). Pigmentepitēlija asimetrija izraisa konstantu potenciālu starpību starp tīklieni un dzīsleni, taču, pieaugot transepitēliālajam potenciālam tīklenes pusē, tā kļūst pozitīvāka, radot c-vilni, ko reģistrē radzenes elektrods. Lai gan c-vilnis rodas pigmentepitēlijā, tas ir atkarīgs arī no fotoreceptoru integritātes, tādēļ ERG c-vilnis var tikt izmantots, lai spriestu par pigmentepitēliju, fotoreceptoriem un to savstarpējo mijiedarbību.[9] 1.1.attēlā parādīti visu četru veidu viļņi(A) un konkrētās tīklenes daļas, no kurām tiek iegūts katrs vilnis(B).



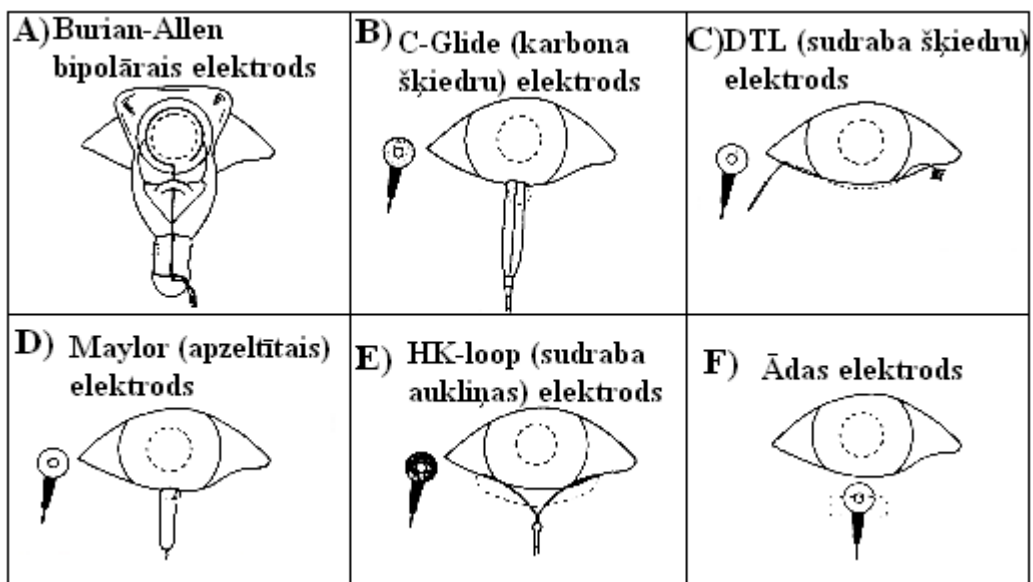
1.1. att. A) Krupim veikta elektroretinogramma, kurā redzami visu veidu viļņi – a,b,c un d vilnis; B) Tīklenes struktūras, kurās rodas katrs no viļņiem. [9,12]

Dažādas tīklenes un dzīslenes patoloģijas var ietekmēt ERG mērījumus. Normālā (bez patoloģijām) ERG ierakstā, palielinoties gaismas intensitātei, atbilstoši palielinās a-viļņa un b-viļņa elektriskā aktivitāte. Patoloģiska ERG pieraksts var uzrādīt dažādas novirzes: neatbilstošus lielumus, izteikti vājākas atbildes u.c. [14]

1.1.3. Elektrodi, to novietojums

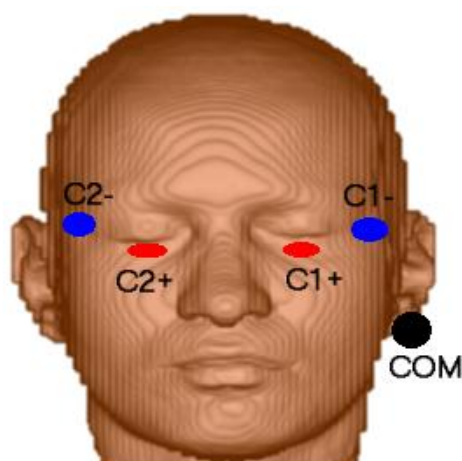
ERG metodē pamatā tiek izmantoti trīs elektrodi – aktīvais elektrods, referentais elektrods un zemes elektrods. Aktīvais elektrods ir galvenais, jo tas reģistrē tīklenes neirālo atbildi uz stimulu. Pastāv vairāki elektrodu veidi (1.2.attēlā) – kontaktlēcas tipa jeb *Burian-Allen* elektrods, karbona vadošas šķiedras jeb *C-Glide* elektrods, sudraba vadošas šķiedras jeb DTL elektrods, ar zeltu pārklātas plāksnītes jeb *Maylor* elektrods, cilpveida sudraba aukliņa jeb *HK-loop* elektrods u.c. Kontaktlēcas tipa elektroda dotais signāls būs visstabilākais un ar visaugstāko amplitūdu. Lietojot kontaktlēcas tipa elektrodu, būtu nepieciešama radzenes virsmas anestēzija, bet pie citiem radzenes vai konjunktīvas elektrodu veidiem tā nav obligāta. Populārākais no kontaktlēcu tipa elektrodiem ir *Burian-Allen* elektrods ar plakstiņu turētāju, kas izslēdz mirkšķināšanu un plakstiņu aizvēršanos (1.2.att.A). *Burian-Allen* elektrodi ir pieejami dažādos izmēros, ļaujot veikt mērījumus gan zīdaiņiem, gan pusaudžiem. Elektroda bipolārā versija ietver plakstu turētājā arī referento elektrodu, izslēdzot vajadzību pēc atsevišķa referentā elektroda.[13, 15] Pastāv arī pie ādas stiprināmi elektrodi (1.2.att.F), kas tiek likti pie apakšējā plakstiņa, taču tiem parasti ir lielāki trokšņi un ierakstam mazāka amplitūda[11, 15]. Plakstiņa elektrodi biežāk tiek izmantoti mērījumos, kas tiek veikti zīdaiņiem vai maziem bērniem [13]. Klīniskajā praksē bieži tiek izmantots arī *Dawson-Trick-Litzkow* (DTL) elektrods (1.2.att.C). Elektrods neprasa radzenes anestēziju un var tikt izmantots veicot mērījumus ilgāku laika periodu. DTL elektroda mērījumiem, salīdzinot ar *Burian-Allen* elektrodu, ir par 10% mazāka amplitūda un tas var tikt izkustināts pie mirkšķināšanas vai acu kustībām.[13, 16] Zelta plāksnītes (*Maylor*) (1.2.att.D) elektrods tiek nolocīts un novietots zem apakšējā plakstiņa, pieskaroties bulbārajai konjunktīvai. Šis elektroda veids ir daudz patīkamāks un ērtāks pacientam, sniedz skaidru atbildi, taču ieraksta amplitūda ir ~30% mazāka nekā kontaktlēcas tipa elektrodam.[13,15]

Eksperimentā tika izmantoti *HK-loop* tipa elektrodi, kas sastāv no cilpveida sudraba aukliņas kā attēlots 1.2. attēlā E. Elektrods tiek ievietots aiz apakšējā plakstiņa, lai tas saskartos ar apakšējo bulbāro konjunktīvu vai radzenes limba rajonu.[17] Kā liecina *Mcculloch* pētījums, tad elektroda ievietošanas laiks ir vidēji 23 ± 10 s un piemērotība elektroretinogrāfijai ir $75\% \pm 18\%$, kas ir vieni no augstākajiem rādītājiem salīdzinājumā ar citiem elektrodu veidiem [15]. Salīdzinot ar radzenes elektrodu, *HK-loop* elektroda ieraksta amplitūda ir zemāka, bet gandrīz vai vienāda ar DTL un zelta plāksnītes elektrodu. *HK-loop* elektrodi ir daudz lētāki nekā, piemēram, zelta folijas elektrodi un var tikt izmantoti bez lokālas anestēzijas. Elektrods reti izraisa diskomforta sajūtu un sniedz stabilu atbildi vismaz 2h.[17]



1.2. att. Referentā elektroda pievienošanas vieta un aktīvie elektrodi: A) Burian-Allen elektrods; B) C-Glide elektrods; C) DTL elektrods; D) Maylor elektrods; E) HK-loop elektrods; F) Pie ādas stiprināms elektrods. [15]

Referentais elektrods kalpo kā elektrods, attiecībā pret kuru nosaka, cik liels ir aktīvā elektroda uztvertais signāls. Šo elektrodu parasti novieto blakus orbītas lokam uz laterālo jeb deniņu pusi. Vislabākais signāls tiek iegūts, ja referentais elektrods ir iestrādāts kontaktlēcā, veidojot kontaktu ar konjunktīvu (1.2.att.A).[11] Zemes elektrodu izmanto elektriskā signāla trokšņu mazināšanai, to parasti novieto pie auss līpiņas vai uz pieres. Elektrodu novietojumi attēloti 1.3.attēlā.

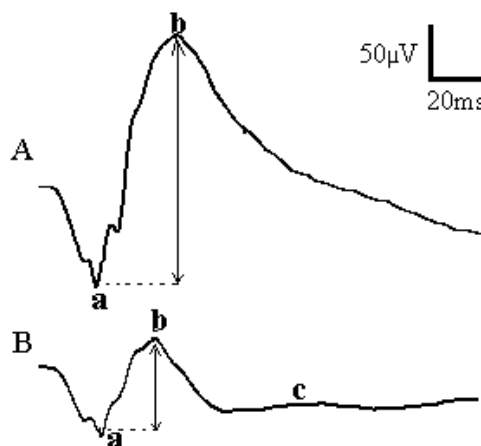


1.3.att. Elektrodu novietojums. COM-Zemes elektrods; C1-,C2- referentā elektroda novietošanas vieta; C1+,C2+ aktīvā elektroda novietošanas vieta.[12]

1.1.4. Elektroretinogrāfijas stimuli

ERG metodē var tikt izmantoti dažādi gaismas stimuli. Visizplatītākie ir tādi stimuli kā spilgts gaismas zibsnis pie tumsas adaptētai acij, oscilējoši potenciāli, ātri mirgojošs stimul, multifokālais ERG, *pattern* ERG u.c.[18] Spilgta gaismas zibšņa stimula krāsas temperatūrai jābūt tuvu 7000K. Tam vajadzētu tikt lietotam ar kupolu vai difuzoru. Veicot mērījumus ar spilgtu gaismas zibšņa stimulu, vienmēr jānosaka b-viļņa amplitūda un laiks līdz maksimumam. Ja a-vilnis tiek uzskatīts par vērā ņemamu komponenti, tad arī tam būtu jānosaka gan laiks līdz maksimumam, gan amplitūda, kā parādīts 1.4. attēlā [9]. Oscilējošos potenciālus lielākoties izmanto amakrīno šūnu aktivitātes noteikšanai, ar tiem iespējams diagnosticēt tīklenes išēmiju. Atbilde uz oscilējošiem potenciāliem ir lielā mērā atkarīga no adaptācijas stāvokļa. Oscilējošo potenciālu līknē visbiežāk var novērot trīs galvenos pīķus, ko pavada ceturtais daudz mazāks pīķis. Ātri mirgojošo stimulu (*Flicker* ERG) atbilde sastāv no vairākiem pīķiem. Mērāmais laiks netieši tiek mērīts no katra stimula sākuma līdz atbilstošajam pīķim. [11] Vālišu funkcijas vislabāk noteikt fotoptiskos apstākļos ar gaismas zibšņa vai 30Hz ātri mirgojoša stimula palīdzību [12]. *Pattern* ERG kā stimulu izmanto reversējošus „šaha galdiņa” kvadrātus, šo stimulu izmanto ganglionāro šūnu darbības noteikšanā un agrīnas glaukomas diagnostikai.

Daudzās laboratorijās tiek izmantots Ganzfelda kupols ar zoda turētāju un fiksācijas punktu. Ganzfelda kupols vislabāk atļauj kontrolēt fona apgaismojumu un stimula zibšņa intensitāti. [12] Eksperimentā tika izmantots mini-Ganzfelda kupols, kuram tika mainīta zibšņa intensitāte. ERG atbilde uz mini-Ganzfelda kupola stimulu pie intensitātes 1500cd/m² parādīta 1.4.attēlā.



1.4.att. Pētījuma dalībnieka Nr.6. elektroretinogramma pie spilgta gaismas zibšņa I=0(log). A) a-vilnis, b-vilnis un amplitūda skotoptiskos apstākļos; B) a-vilnis, b-vilnis, c-vilnis un amplitūda fotoptiskos apstākļos.

1.1.5. Gaismas un tumsas adaptācijas ietekme uz elektroretinogrammu

Mugurkaulnieku redzes sistēma var tikt sadalīta divās daļās – nūjiņu sistēmā (nakts redze) un vālišu sistēmā (dienas redze). Abas sistēmas strādā neatkarīgi viena no otras reti mijiedarbojoties. Redzes īpašības un kvalitāti nosaka konkrētos apstākļos jutīgākā sistēma. Dažādām sugām mēdz būt atšķirīgas dominantās sistēmas, piemēram, žurkām raksturīgas jutīgākas nūjiņas, taču zemes vāverēm un dažām bruņurupuču sugām dominantā ir vālišu sistēma. Cilvēkiem ir raksturīgas abas sistēmas, nūjiņas ir jutīgākas uz blāvas gaismas stimuliem pie tumsas adaptācijas, pastāvot fona apgaismojumam nūjiņas ir tik piesātinātas, ka neatbild uz gaismas pieaugumu vai samazinājumu. Turpretī vālišu sistēma nav tik jutīga, taču spēj adaptēties spožai gaismai plašā intensitāšu diapazonā. Lai atšķirtu vālišu atbildi no nūjiņu atbildes tiek izmantoti dažādi adaptācijas apstākļi, 1.4.attēlā parādīta adaptācija skotopiskiem un fotopiskiem apstākļiem. Rādot gaismas stimulu, kura fona apgaismojums piesātina nūjiņas, tiek iegūta ERG vālišu sistēmas atbilde. ERG ierakstam fotopiskos apstākļos raksturīga maza amplitūda, taču ļoti ātra kinētika – laiks, kamēr tiek sasniegts b-viļņa maksimums ir apmēram 40ms (1.4.att. B). Taču rādot to pašu stimulu pēc tam, kad subjekts ir vismaz 30 min pavadījis tumsas adaptācijā, elektroretinogramma uzrāda ievērojami lielāku amplitūdu, taču kinētika ir daudz lēnāka – laiks kādā tiek sasniegts b-viļņa maksimums ir apmēram 50ms. 1.4.attēlā iespējams novērtēt amplitūdu atšķirības A) tumsas adaptāciju un B) gaismas adaptāciju, kā arī redzēt nobīdi laikā par aptuveni 10ms.[9]

2010. gadā veiktajā pētījumā *Tanapat Ratanapakorn* apstiprina, ka skotopiskos apstākļos veikta mērījuma a-viļņa amplitūda ir daudz zemāka nekā fotopiskos apstākļos. Savukārt b-viļņa amplitūda ir ievērojami augstāka skotopiskos apstākļos, salīdzinot ar fotopiskiem.[8]

1.2. Katarakta

1.2.1. Kataraktas veidi

Katarakta (no grieķu *katarraktes*) ir pilnīgs vai daļējs acs lēcas vai tās kapsulas apduļķojums. Kataraktas gadījumā acs lēcas gaismas caurlaidība samazinās, slimniekam rodas sūdzības par pasliktinātu redzi un grūtībām lasīt, viņam var šķist, ka pasaule kļūst „pelēka”. Pie pilnīga lēcas apduļķojuma nav iespējams izšķirt priekšmetus, tikai gaismu no tumsas. Sūdzības atšķiras atkarībā no lokalizācijas, jo apduļķojumi lēcas perifērijā neietekmē redzi tik būtiski kā tie, kas atrodas pretī zīlītei, kas daudz vairāk pasliktina redzes funkcijas (redzes asumu, kontrastjutību, krāsu redzi u.c.). Pēc etioloģijas izdala divus galvenos kataraktu veidus – iegūtas un iedzimtas kataraktas.[19]

Iedzimtā katarakta (*cataracta congenita*) ir lēcas vai tās kapsulas apduļķojums, kas ir klātesošs jau pie dzimšanas. Lielākoties tā ir abpusēja un stacionāra, retos gadījumos progresējoša. Iedzimtā katarakta var kombinēties ar citiem acs attīstības traucējumiem.[19]

Aptuveni 90% no visiem kataraktu veidiem ir tieši iegūtas. Pārsvārā tās ir ar vecumu saistītās kataraktas, kas rodas pēc 50-60 gadu vecuma. Senilā jeb vecuma katarakta (*cataracta senilis*) visbiežāk sākas lēcas perifērijas kortikālajos slāņos, taču dažreiz lēcas apduļķošanās var sākties no kodola. Kataraktas iedala atkarībā no gatavības pakāpes, minot sākotnēju kataraktu (redzes asums 0,8-1), negatavu kataraktu(0,4-0,7), gandrīz gatavu(0,3-0,1), gatavu (<0,1), pārgatavojušos, kā arī briedošu kataraktu.[19] Atkarībā no apduļķojumu atrašanās vietas acs lēcā senilo kataraktu iedala trīs galvenajos tipos (1.5.att) – kodola (*cataracta nuclearis*), garozas (*cataracta corticalis*) un mugurējā subkapsulārā katarakta [20].



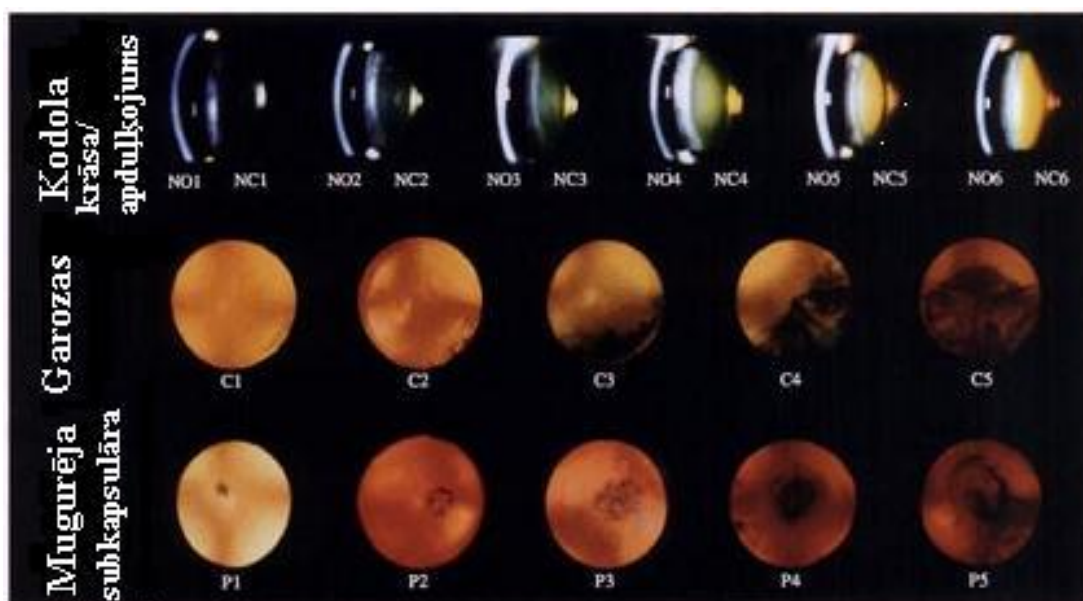
1.5.att. Senilās kataraktas veidi: A) Kodola katarakta; B) Garozas katarakta; C)Mugurējā subkapsulārā katarakta.[21]

Katarakta ir viens no galvenajiem akluma cēloņiem mūsdienu pasaulē [22,23]. Kā vēsta 2011. gada aprīlī publicētais *Khumbo Kalua et.al.* pētījums, tad 3,3% no Dienvidāfrikas Malawi reģiona iedzīvotājiem vecāki par 50 gadiem, ir akli. Tika noskaidrots, ka no visiem akluma izraisītājiem aptuveni 48,2% gadījumu akluma cēlonis ir tieši senilā katarakta.[23]

1.2.2. Kataraktas veidu klasifikācija

Zinātniskos pētījumos tiek izmantota Lēcas Apduļķojuma Pakāpes Klasifikācijas Sistēma III (*Lens Opacities Clasification System - LOCS III*), publicēta 1993.gadā. Tā ir sistēma, kas sagrupē cilvēku kataraktas veidus. Šī sistēma ir tikusi izveidota *Longitudinal Study of Cataract* (LSC) studiju grupā, izmantojot LSC bibliotēku Klīniskās Kataraktas Izmeklējumu centrā (*Center for Clinical Cataract Research*) Bostonā. LOCS III izveidota kā zinātniski pamatota un ticama fotogrāfiski standartizēta kataraktas gradācijas sistēma. Šīs sistēmas izveides mērķis bija sagrupēt kataraktas pēc to apduļķojuma pakāpes, dažādu pret-kataraktas zāļu izmēģinājumiem un lai sekmīgāk varētu kontrolēt citu zāļu ietekmi. Šī klasifikācija ir padarījusi pētījumus daudz organizētākus, operatīvākus, pielāgotākus individuāli katram pacientam.[24]

Klasifikācijas sistēma ir balstīta uz četrām galvenajām daļām. Būtiskākās īpašības klasiskajai kodola sklerozei ir sadalītas un veido pirmās divas daļas: kodola apduļķojums (NO) un kodola krāsa (NC). Tāpat tiek izdalītas garozas katarakta (C) un mugurējā subkapsulārā katarakta (P). Apduļķojumu progresija attēlota 1.6.attēlā, kas satur 16 fotogrāfijas (fotogrāfiskā skala), ar kurām pārbaudes laikā eksaminētājs salīdzina kataraktas attīstību. LOCS III klasifikācijas sistēmai ir pārbaudīts ticamības līmenis, rezultātā katrai no četrām skalām statistiskā ticamība ir augstāks par 95%. [24]



1.6.att. LOCS III Fotogrāfiskā skala attēlo standartu (kodola krāsas un apduļķojuma noteikšanai augšējā rindā, garozas kataraktas spieķus otrajā rindā un mugurējo subkapsulāro kataraktu trešajā rindā).[24]

1.2.3. Kataraktas izplatība

Vecuma izraisītie lēcas apduļķojumi ir plaši izplatīti un vieni no galvenajiem redzes zuduma iemesliem. Veikti populāciju pētījumi, kas parāda, ka vecumā no 43 līdz 84 gadiem 46,8% Austrālijas sieviešu un 21,6% Austrālijas vīriešu, 50,3% Amerikas sieviešu un 24,0% Amerikas vīriešu ir attīstījušies katarakta. Taču pētot populāciju pēc 75 gadu vecuma, var redzēt, ka gan sievietēm, gan vīriešiem kataraktas izplatība ir aptuveni vienāda, kas ir vidēji 50%. [25,26]

Kataraktas operācija ir viena no visbiežāk veiktajām acu operācijām, pēc kā var spriest par jebkuras valsts oftalmoloģiskās palīdzības kvalitātes raksturlielumiem. Kā vēsta Pasaules Veselības aizsardzības organizācijas dati, tad 2001.gadā uz miljons ASV iedzīvotājiem veiktas 6000 kataraktas operācijas gadā, savukārt Vācijā šis raksturlielums ir 5000 operāciju. Salīdzinoši Eiropā ir veiktas 4500 kataraktas operācijas uz miljons iedzīvotājiem gadā. Kataraktas operāciju skaits sadalās atbilstoši attīstītāko valstu raksturlielumiem, lai Latvija atbilstu vidējiem rādītājiem, būtu jāveic vismaz 10000 kataraktas operāciju gadā, kas ir gandrīz divas reizes vairāk nekā pašlaik. Balstoties uz Latvijas Acu ārstu asociācijas apkopotajiem datiem par kataraktas operāciju skaitu Latvijā, 2001.gadā veiktas 2900 operācijas, bet 2003.gadā aptuveni 3100 operācijas.[19]

Kā liecina pētījums Amerikā, 20,5milj iedzīvotājiem, kas vecāki par 40 gadiem, pārstāv 17,2% no populācijas, vismaz vienā acī ir katarakta. 6,1 milj jeb 5,1% no populācijas ir veikta kataraktas operācija un lēca tikusi izņemta vai arī aizstāta ar Intraokulāro lēcu (IOL). Katarakta sastopama galvenokārt pieaugušo starpā, skarot 50% iedzīvotāju vecuma grupā no 65-74 gadiem un 70% iedzīvotāju sākot ar 75 gadiem. Saskaņā ar cilvēku dzīves ilguma pieaugumu, tiek prognozēts, ka uz 2020.gadu iedzīvotāju skaits ar kataraktu varētu sasniegt pat 30,1 miljonu, no kuriem tikai 9,5 miljoniem varētu būt sagaidāma pseidoafakija vai afakija. Amerikas Savienotajās Valstīs sievietēm ir ievērojami augstāka kataraktas izplatība, aptuveni 58% no visiem kataraktas gadījumiem.[27]

Riska faktoru izpratne un identifikācija varētu aizkavēt kataraktas attīstību vismaz par desmit gadiem, kā rezultātā kataraktu operāciju skaits katru gadu varētu samazināties par 45%. Lielākam kataraktas riskam pakļauti cilvēki ar zemāko sociālekonomisko stāvokli un zemāku izglītības līmeni, kas attiecas uz veselīga uztura trūkuma, sliktas vispārējās veselības, papildus kataraktu sekmējošiem apstākļiem. [28] Kataraktas operācijas būtiski uzlabo redzes kvalitāti, neietekmējot slimnieka vispārējo stāvokli, tādēļ tiek uzskatītas par vienām no visefektīvākajām operācijām ne tikai oftalmoloģijā, bet medicīnā kopumā [19].

1.2.4. Kataraktas simptomātika

Kataraktu bieži raksturo kā „skatīšanos caur plīvuriņu”, līdz ar to tādas ikdienas nodarbes, piemēram, lasīšana un braukšana ar automašīnu ir apgrūtinātas vai pilnībā neiespējamas. Kā primārie kataraktas simptomi tiek uzskatīti redzes asuma samazināšanās un neskaidra attēla veidošanās uz tīklenes, ko var novērot 1.7.attēlā.[29]



A. Skats uz ainavu ar veselu aci



B. Skats uz ainavu ar aci, kurā attīstījusies katarakta

1.7.att. A)Attēls ko redz vesela acs; B) Attēls acī, kurai ir attīstījusies katarakta [30].

Bieži sastopama sūdzība kataraktas pacientu vidū ir nespēja redzēt objektus spožā saules gaismā un apžilbšana no pēkšņas gaismas tumsas apstākļos, piemēram, pretī braucošas automašīnas gaismas [31]. Visu veidu kataraktas samazina kontrastjutību, taču mugurējai subkapsulārai kataraktai tā ir visraksturīgākā īpašība. Sūdzības par žilbšanu sagaidāmas pat no pacienta ar vismazāko kataraktas apduļķošanās pakāpi, jo ir sliktāka redze gan dienas gaismā, gan tumsas apstākļos.[29]

Kataraktas attīstībai raksturīga miopiskā novirze, kas izpaužas kā miopiskas refrakcijas progresēšana lēcas kodola cietēšanas rezultātā. Fenomenāli ir tas, ka šai vecuma grupai raksturīga presbiopija, bet progresējot miopijai pacients atkal ir spējīgs redzēt tuvumā, tādēļ šo parādību mēdz saukt arī par „otro redzi” [32]. Iespēja atkal lasīt bez brillēm parādās lēcas uzbriešanas rezultātā [19].

Dubultošanās un monokulāra dipopija ir viena no kataraktu raksturojošiem simptomiem, jo, gaismai nokļūstot acī, tā tiek lauza atšķirīgās vidēs, rezultātā veidojot divus vai pat vairākus attēlus. Dažkārt novērojami arī oreoli ap gaismas avotiem.[19]

Krāsu redze ir viena no redzes primārajām funkcijām, kuras realizācijā līdzdarbojas lēca, taču kataraktas gadījumā tā zaudē savas īpašības un rada krāsu redzes izmaiņas. Kodola kataraktas gadījumā lēcai parādās dzeltenbalta filtra īpašības, kuru rezultātā tiek pastiprināti absorbēta zilā gaisma. Krāsas attēlā izbalē vai arī tajā sāk dominēt dzeltenīgie toņi.[32]

1.2.5. Kataraktas novērtēšanas metodes

Apduļķojumi lēcā primāri ietekmē redzi, izraisot funkcionālas nepilnības un redzes kvalitātes samazināšanos pacientiem ar kataraktu, tādēļ katarakta var tikt atklāta pat kārtējā redzes pārbaudē, veicot vienkāršākos testus.

Skatoties biomikroskopiski, ar optiskā griezuma metodi, var novērot lēcas mākoņveida apduļķojumus, bet pie paplašinātas zīlītes var redzēt garozas kataraktu. Mugurējās subkapsulārās kataraktas gadījumā biomikroskopā var redzēt graudainus nogulumus.

Veicot pacienta izmeklēšanu ar oftalmoskopu, iespējams diagnosticēt kataraktas esamību. Izmantojot netiešo oftalmoskopiju, ar caurspoguļošanas metodi, iespējams novērtēt vai tīklenes refleksi ir vienādi vai kāds no tiem ir blāvāks kataraktas rezultātā.

Ikdienas redzes pārbaudēs pacientiem pēc 40 gadiem ir obligāti jāveic acs spiediena mērījumi, kuru rezultāti var kalpot par norādi uz kataraktas esamību. Acs spiediens var pieaugt lēcas uzbriešanas rezultātā, ko izraisa bioķīmiski procesi garozas kataraktas gadījumā.

Lai novērtētu redzes sistēmas nepilnības, tradicionāli galvenais rādītājs ir redzes asums, taču pastāv pētījumi, ka starp redzes asumu un subjekta redzes kvalitāti ir zema korelācija. *Tina Bal et.al.* (2010) pētījusi dažādu kataraktas tipu ietekmi uz kontrastjutību, gaismas izkliedi acī un redzes asumu. Pētot 99 acis ar kataraktu atklājās, ka gaismas izkliede būtiski atšķiras dažādiem kataraktas tipiem. Vislielākā gaismas izkliede acī rodas pie mugurējās subkapsulārās kataraktas, tad kodola kataraktas un vismazākā pie garozas kataraktas. Ietekme uz kontrastjutību nav būtiska, jo tā labi korelē ar redzes asumu, izņemot mugurējās subkapsulārās kataraktas gadījumā. Gaismas izkliede acī noris neatkarīgi no redzes asuma. Pētījuma mērķis bija salīdzināt, cik no kataraktas pacientiem būtu spējīgi vadīt automašīnu, jo saskaņā ar pašreizējo Eiropas regulu 1.klases autovadītājiem, redzes kvalitāte tiek noteikta, ņemot vērā tikai redzes asumu un redzes lauka lielumu. Redzes asumam jābūt vismaz 0,5 (decimālajā sistēmā) labāk redzošajā acī, kas mērīta dienas gaismas apstākļos (230-450lx). Pētījuma rezultāti parādīja, ka, ja tiktu ņemta vērā gaismas izkliede acī, tad visi pacienti, kam ir mugurējā subkapsulārā katarakta, 63% ar kodola kataraktu un 73% ar garozas kataraktu nebūtu spējīgi vadīt automašīnu, jo izklijes rādītāji ir augstāki par 1,4 log (vidēji izkliede ir 0,96log). [3]

Redzes asuma testi tiek veikti augsta kontrasta apstākļos, pārbaudot spēju redzēt melnus burtus uz balta fona, taču ikdienā novērojamām ainām ne tuvu nav tik augsta kontrastu starpība. Savukārt samazināta kontrasta apstākļos sensorās sistēmas novirzes var radīt vizuālus defektus, ko augsta kontrasta testos var neievērot. Kontrastjutības testi parāda ievērojami augstāku korelāciju ar funkcionālo redzi nekā augsta kontrasta redzes asuma testi.[33]

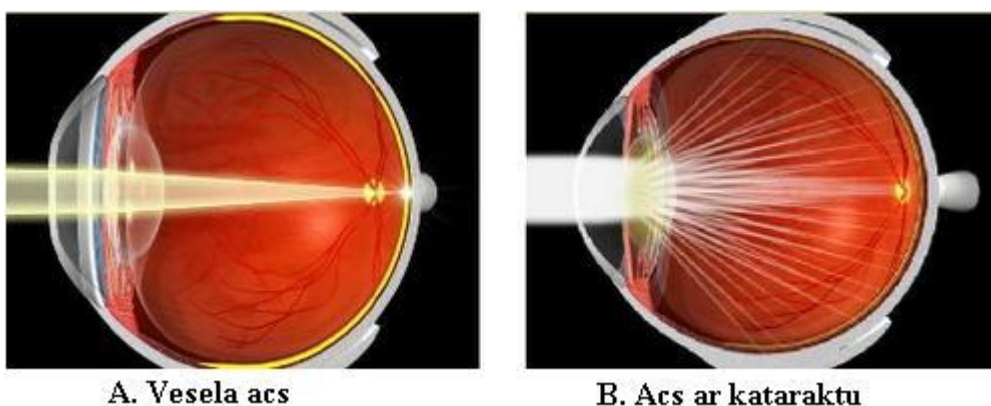
1.3. Acī „noklīdusī” gaisma

Viens no galvenajiem attēla veidošanās priekšnoteikumiem acī ir caur zīlīti ienākušās gaismas fokusēšanās uz tīklenes. Reālajā dzīvē daļa acī nonākušās gaismas nepiedalās tīklenes attēla veidošanā. Tā kā acs nav optiski ideāla vide, tad daļa gaismas izkliedējas no dažādām acs iekšējām struktūrām. Acī izklīdusī gaisma pat traucē kvalitatīva attēla veidošanās procesam, jo „noklīst”, tiek atstarota vai izkliedēta acs optiskajās vidēs.[34]

Jau no 20.gs sākuma gaismas izkliedes ietekmi uz redzes funkcijām pētījuši daudzi izcili pētnieki. *After Cobb* iepazīstināja ar „aizplīvurotās” gaismas teoriju, *Holladay* un *Stiles* izvirzīja gaismas izkliedes formulu, kas tiek atzīta un plaši pielietota. Ir noskaidrots, ka gaismas izkliede pieaug, palielinoties apduļķojumiem un irregularitātēm acs iekšējās vidēs. Izklīdētā gaisma acī rada blāvu apgaismojumu pār visu tīklieni, summējoties ar tīklenes attēlu un tādējādi samazinot attēla kontrastu. [35]

Gaismas izkliedes daudzums ir atkarīgs no tādiem faktoriem kā cilvēka vecums, acs pigmentācijas pakāpe, dažādām acs patoloģijām u.c. Kataraktas, korneālās distrofijas vai stiklveida ķermeņa apduļķojumu gadījumā acī izklīdētās gaismas daudzums strauji palielinās un var radīt tādas sūdzības kā kontrastjutības zudumu, redzes funkcijas pasliktinošu žilbšanu un halo. [34]

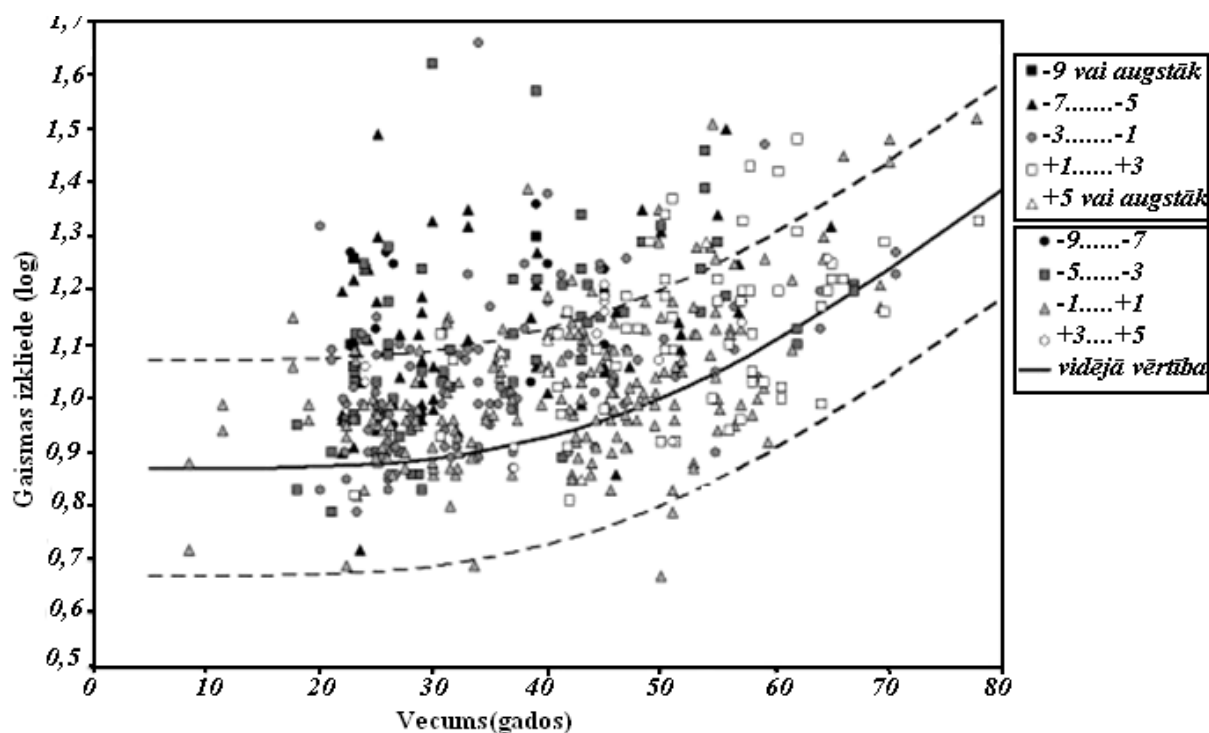
Attēlā 1.8. A) redzama staru gaita optiski ideālā acī, kad visi gaismas stari fokusējas vienā punktā uz tīklenes. 1.8.attēlā B) redzams, ka acs lēca nav dzidra, caurspīdīga, bet gan apduļķojusies, kā rezultātā liela daļa gaismas izkliedējas no lēcas. Tīklene saņem mazu daļu no acī ienākušās gaismas un attēls šķiet neskaidrs, miglains un ar zemāku kontrastu.



1.8. attēls. A) gaismas stara gaita veselā acī; B) gaismas stara gaita un izkliede acī, kurā ir attīstījusies katarakta. [30]

Viens no būtiskiem gaismas izklīdi acī ietekmējošiem faktoriem ir vecuma radītās izmaiņas acī. Gaismas izkliede acī paliek nemainīga apmēram līdz 45 gadu vecumam, bet pēc tam graduāli pieaug, kā parādīts 1.9. attēlā. Šajā pētījumā iegūtie dati ir nedaudz augstāki nekā citu autoru aprēķinātā vidējā vērtība pie dažādiem cilvēka vecumiem (attēlota 1.9.attēlā

ar nepārtraukto līniju). Izkliedes pieaugums varētu būt skaidrojams ar to, ka lielāko pētījuma dalībnieku daļu sastādīja jauni miopi, jo pētījuma dalībnieku vidējais sfēriskais ekvivalents bija $-1,5 \pm 2,9$ D. Vidējā vērtība ir aptuveni 0,85 log vienības līdz 30 gadu vecumam. Tā kā subjekti tika sadalīti atbilstoši refrakcijas sfēriskajam ekvivalentam, tad var redzēt, ka jauniem pacientiem ar augstu miopiju raksturīga augstāka gaismas izkliede, savukārt hipermetropiem subjektiem raksturīga zemāka gaismas izkliede acī.[34]

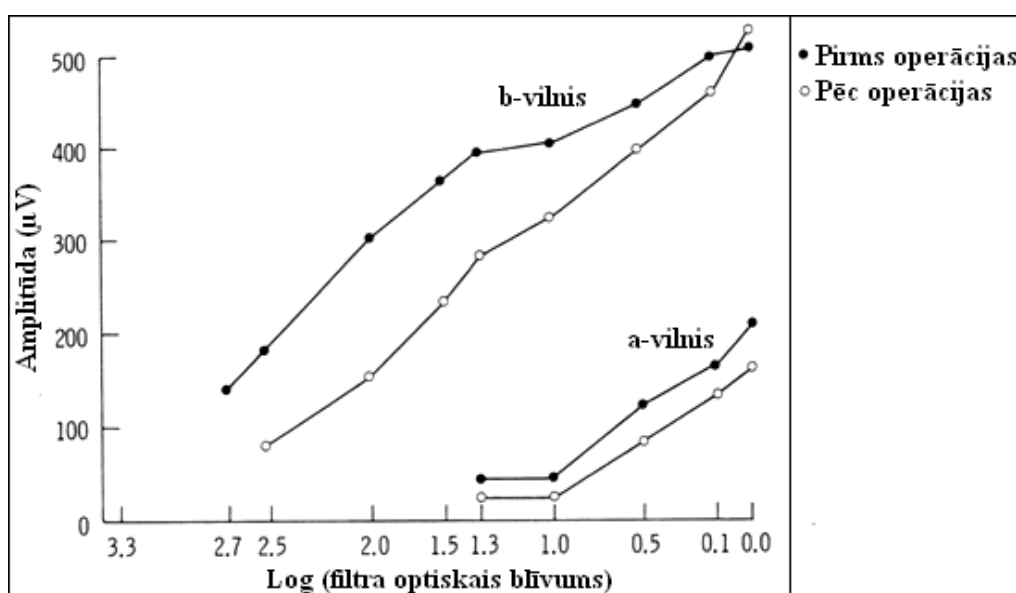


1.9. attēls. Acī „noklīdusi” gaisma log vienībās dažādos vecumos. Dažādie apzīmējumi attēlo refrakcijas sfēriskā ekvivalenta atšķirības. Raustītās līnijas attēlo 95% ticamības intervālu. [34]

Gaismas daudzumu, kas iekļūst acī, lielā mērā kontrolē acs zīlīte, tādēļ interesants šķiet Luuk Fransen *et.al.* 2007.gadā veiktais pētījums par gaismas izkliedes atkarību no zīlītes diametra. Tika noskaidrots, ka gaismas izkliedes daudzums īpaši nemainās zīlītes diametram pieaugot no 2mm līdz 8mm, taču pie lielākiem leņķiem un gadījumos, kad zīlītes diametrs ir mazāks par 2mm, acī izkļiedētā gaisma strauji pieaug. Iegūtie rezultāti tiek skaidroti ar acs sieniņas caurspīdību, kas palielina izkļiedētās gaismas daudzumu acī, turklāt subjektiem ar izteiktāku pigmentāciju šis efekts izpaužas ievērojami mazāk.[36]

1.4. Pētījumu pārskats pār gaismas izkliedes ietekmi uz elektrotretinogrammu

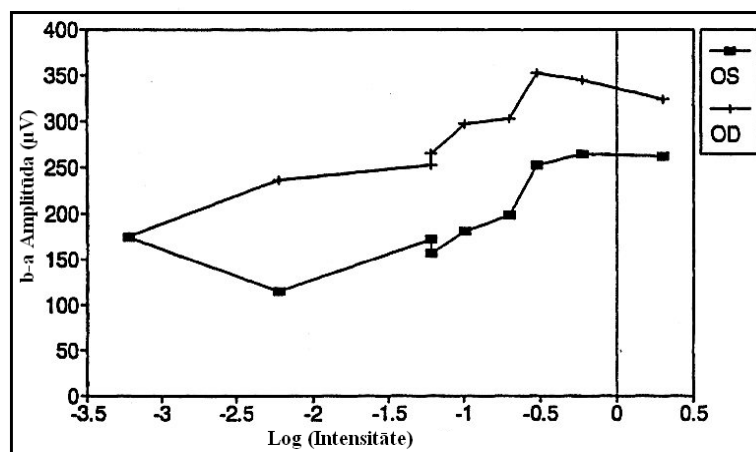
Vieni no pirmajiem autoriem, kas pielietojuši kataraktas izmeklēšanā elektrotretinogrāfijas metodi un pētījuši ERG atbildi pirms un pēc kataraktas ekstrakcijas operācijas bija *Burien & Burns*. Jau 1966.gadā autori aprakstīja elektrotretinogrammu, kas iegūta no 37 acīm ar senilo kataraktu, veicot atkārtotus mērījumus arī pēc kataraktas ekstrakcijas operācijas. *Burien & Burns* mērījumos izmantoja dažādas intensitātes stimulus, atklājot, ka b-vilņa amplitūda ir ievērojami zemāka afakiskā stāvoklī. Ievērojamā amplitūdas samazināšanās pēc kataraktas ekstrakcijas operācijas bija spilgtāk novērojama pie zemas intensitātes stimuliem, kā parādīts 1.10.attēlā. [6]



1.10. att. A-vilņa un b-vilņa amplitūdas pirms un pēc kataraktas operācijas vienam pacientam pie desmit dažādas intensitātes stimuliem.[6]

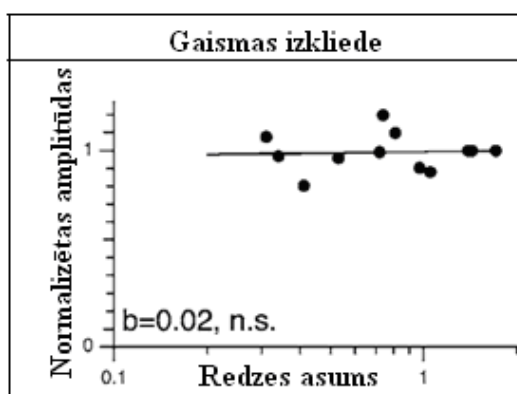
Burien & Burns skaidro, ka acs lēca ar kataraktu strādā kā difūzs ekrāns, kurš izstaro gaismu pa visu tīkleni, vairāk stimulējot tīklenes perifērijā esošās nūjiņas. Tas izskaidro to, kāpēc pie zemām intensitātēm ERG amplitūdu starpība pirms un pēc kataraktas operācijas palielinās. Augstas intensitātes gaismas zibšņa gadījumā nūjiņas ir piesātinātas gan kataraktas gadījumā, gan afakiskā stāvoklī, līdz ar to mazāk iesaistās atbildes veidošanā. [6]

Savukārt citu autoru pētījumā tika iegūta zemāka ERG amplitūda b vilnim acī ar kataraktu nekā bez tās. Attēlā 1.11. attēlota amplitūdas atkarība no stimula gaismas intensitātes labajai (OD) acij un acij, kurā attīstījusies katarakta(OS).[37]



1.11.att. ERG atbilde tumsas adaptācijā, kataraktas neskartajā - labajai acij (OD) un acī ar kataraktu-kreisajai acij (OS).[37]

Savukārt citu autoru pētījumi, kuros katarakta tika simulēta, izmantojot gaismu izkliedējošos filtrus, parādīja, ka gaismas izkliedes pakāpes palielināšanās neietekmēja b viļņa amplitūdu ERG līknē (sk. att. 1.12.) [7]. Katra filtra gaismas izkliedes pakāpe šajā pētījumā tika raksturota ar maksimālo redzes asumu, ko var iegūt ar katru no filtriem. Mērījums pie grafikā atliktā labākā redzes asuma tika veikts bez filtra. Caur mērījumu punktiem tika izvilktā taisne un tika noteikts, vai taisnes slīpuma koeficients b ir vai nav nozīmīgi atšķirīgs no 0. Rezultāti uzrādīja, ka b nav būtiski atšķirīgs no 0, līdz ar to tika secināts, ka gaismas izkliedes pieaugumam nav statistiski nozīmīgas ietekmes (n.s.) uz ERG līknes amplitūdu.



1.12.att. Normalizētas amplitūdas ERG mērījumiem atkarībā no redzes asuma, kas iegūts acs priekšā novietojot gaismu izkliedējošu filtru.[7]

2010. gadā Taizemē veiktajā pētījumā tika pētīta kataraktas ietekme uz elektroretinogrāfijas atbildi. 30 pacientiem, vecumā no 47-79 gadiem tika veikti mērījumi pirms kataraktas operācijas un pēc tās. Pētījumā tika izmantoti DTL tipa elektrodi, ar kuru palīdzību reģistrēja piecas dažādas ERG atbildes spilgtam gaismas zibsnim skotoptiskos, mezooptiskos un fotoptiskos apstākļos, kā arī oscilējoši potenciāli un 30 Hz flīkeris. ERG atbilde uzrāda, ka pēc kataraktas operācijas amplitūdas samazinājās mezooptiskos apstākļos, bet fotoptiskos un skotopiskos apstākļos būtiski nemainījās.[8]

1.5. Literatūras pārskata secinājumi

Iegūta katarakta nav viendabīga, tādēļ tai mēdz būt dažādu veidu iedalījumi, kas tās klasificē pēc apduļķojuma lokalizācijas vai gatavības pakāpes. Lai precīzi simulētu kataraktu ar gaismu izkliedējošu filtru, būtu jānovērtē redzes asums skatoties caur filtru, jo katram kataraktas veidam tas mēdz atšķirties – sākotnējai kataraktai raksturīgais redzes asums ir no 0,8-1 decimālajā sistēmā, negatavai kataraktai no 0,4-0,7, gandrīz gatavai 0,3-0,1 u.t.t.

Normālā (bez patoloģijām) ERG ierakstā, palielinoties gaismas intensitātei, atbilstoši palielinās a-viļņa un b-viļņa elektriskā aktivitāte, respektīvi, pieaug arī elektroretinogrammas amplitūda.

Kopumā pētījumi par gaismas izkļedes ietekmi uz ERG viļņa amplitūdām uzrāda pretrunīgus rezultātus. Tas varētu būt saistīts ar dažādu gaismas stimulu avotu izmantošanu – Ganzfelda kupolu vai datora ekrānu, kā arī dažādiem gaismas adaptācijas apstākļiem. Rezultātu salīdzināšanu apgrūtina arī tas, ka stimula spožums tiek uzrādīts tikai relatīvās log vienībās, neuzrādot absolūtās spožuma vērtības.

Galvenie optiskie faktori, kas var ietekmēt ERG atbildi, ir gaismas izkliede un absorbcija. Gaismas izkliedi acī ietekmē tādi raksturlielumi kā pacienta vecums, pigmentācijas pakāpe un zīlītes diametrs.

Veicot pētījumu jācenšas atrast atbildes uz tādiem jautājumiem: kā gaismas izkliede acī ietekmē ERG amplitūdas un vai izmaiņas ir izskaidrojamas tikai ar optiskām parādībām, vai arī ar neirālām (dažādu tīklenes apgabalu stimulāciju).

2. PRAKSTISKĀ DAĻA

2.1. Darba mērķis un uzdevumi

Bakalaura darba mērķis ir noskaidrot optisko (gaismas izkliede, absorbcija) un neirālo faktoru ietekmi uz elektrotretinogrammu paaugstinātas intraokulārās gaismas izkiedes apstākļos.

Darba uzdevumi:

1. Izveidot gaismu izkiedējošo filtru kataraktas simulācijai.
2. Noteikt, kā mainās ERG amplitūdas pie dažādām stimula intensitātēm.
3. Veikt ERG mērījumus simulētas kataraktas gadījumā, acij priekšā novietojot gaismu izkiedējošo filtru, pie dažādām stimula gaismas intensitātēm.
4. Novērtēt gaismas izkiedes un absorbcijas ietekmi uz elektrotretinogrammu mērījumos ar gaismu izkiedējošo filtru.

2.2. Pētījuma dalībnieki

Pētījumā ERG ieraksti tika veikti septiņiem subjektiem, kuru vidējais vecums bija 21 gads. Subjekti tika izvēlēti no Latvijas Universitātes Optometrijas un Redzes zinātnes nodaļas Optometrijas bakalaura studiju programmas studentu vidus. Septiņas studentes ar anatomiski veselu acs lēcu, tīkleni un citām acs struktūrām piedalījās eksperimentā. Eksperimentam tika izvēlētas studentes, kuru redzes asums nevadošajā acī ir $\geq 1,00$ decimālajā sistēmā. Visi pētījuma dalībnieki tika informēti par eksperimentu, tā mērķi, metodi, tā gaitu, kā arī par varbūtējām neērtībām, ko tas var radīt.

2.3. Aparatūra

Veicot elektrotretinogrāfijas ierakstus, tika izmantota *Heypo-ЭПТ* aparatūra, ražota Krievijas Federālajā Puspresidentārajā Republikā medicīnas diagnostikas ierīču ražotājkompanijā *Heypocoφm*. Neuro-ERG atbilst ISCEV nolikumam, sertificēts pēc Starptautiskiem standartiem ISO 9001 un ISO 13485. Neuro-ERG tiek izmantots, lai objektīvi novērtētu tīkles funkcionalo stāvokli, redzes ceļu bojājumu tipu un pakāpi. ERG mērījumi var tikt izmantoti kā pieaugušiem tā arī bērniem, sākot no pirmās dzīves dienas.

Gaismas zibšņa stimula rādīšanai tika izmantots mini-Ganzfelda stimulators. Maksimāli iespējamais stimula spožums ir $1500 \pm 150 \text{ cd/m}^2$, spožuma diapazonu var mainīt no -3 log līdz 0 log vienībām. Stimula zibšņa frekvence ir maināma robežās no 0,05 Hz līdz 100 Hz. [38]

Mērījumos tika izmantoti cilpveida retinogrāfijas elektrodi. ERG elektrodi attēloti 2.1. attēlā A, mini-Ganzfelda kupols parādīts 2.1 B attēlā. Elektrodi veidoti mazu cilpiņu vai āķīšu formā, jo tāda veida elektrodi pacientam sagādā mazāk nepatīkamu sajūtu eksperimenta laikā.

Tika izmantots pastiprinātājs ar datu pieraksta frekvenci ir no 200Hz-160kHz uz kanālu, kopā četri kanāli, kas attēloti 2.1.attēlā C. [38]



2.1.att. A.) Neuro-ERG aparatūras elektrodi – āķveida un cilpveida; B.) Mini-Ganzfelda kupols, nostiprināts statīvā; C.) Signāla pastiprinātājs.[38]

2.4. Pētījumā izmantotās mērvienības

ERG atbildē tiek reģistrēta amplitūda (μV) un laiks (ms), kas ir atkarīgi no izmantotās gaismas intensitāte (log).

Amplitūda tiek mērīta no a-viļņa līdz b-viļņa maksimumam. Amplitūda tiek izteikta mikrovoltos - μV .

Latence ERG ierakstā apzīmē intervālu no stimula parādīšanās brīža līdz atbildei. Latenci parasti izsaka milisekundēs - ms.

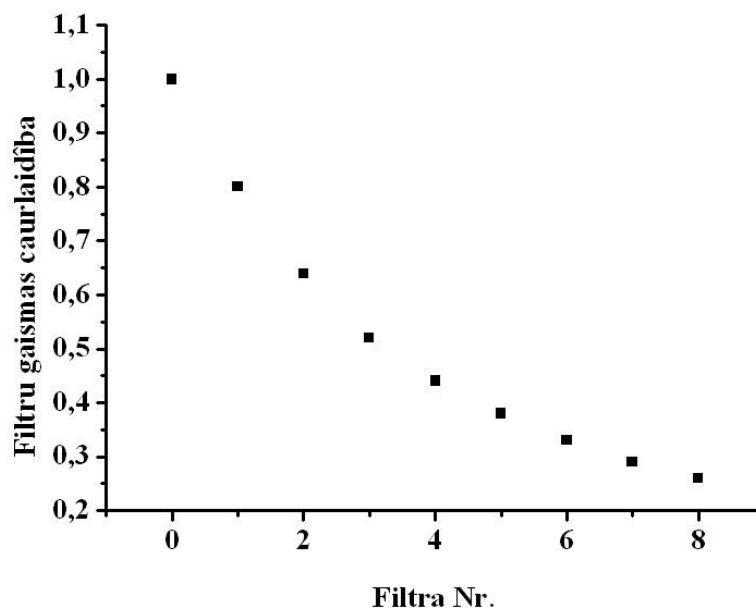
Stimula gaismas intensitāte Neuro-ERG iekārtā tika norādīta relatīvās logaritmiskās vienībās. 0 log vienības apzīmē standarta vērtību ($1500 \pm 150 \text{ cd/m}^2$), attiecībā pret kuru samazinās pērējās intensitātes vērtības. Piemēram, -0.3 log vienības nozīmē uz pusi vājāku stimulu nekā standarta vērtība. Aparatūras piedāvātā gaismas intensitātes skala ir intervālā no 0 log vienībām, kas ir visspozākā, līdz pat -3 log vienībām, kas ir visblāvākā.

2.5. Pētījuma metodika

2.5.1. Filtru izveide un novērtēšana

Lai labāk varētu piemeklēt mērījamiem atbilstošāko filtru, tika izveidoti vairāki gaismu izkiedējoši filtri kataraktas simulācijai. Filtri tika veidoti no caurspīdīgas plēves, kas tiek izmantota materiālu rādīšanai uz kodoskopa. Lai filtri iegūtu tiem vajadzīgās īpašības un izkliedētu gaismu, tie tika veidoti saliekot kopā vairākas kodoskopa plēvju kārtas. Filtri tika veidoti pēc probes lēcu izmēra, lai pēc iespējas vieglāk būtu novietojami pretī acij. Filtrs Nr.1 sastāvēja no 2 plēvju kārtām, filtrs Nr.2 no 4 kārtām, filtrs Nr.3 no 6 kārtām, filtrs Nr.4 no 8 kārtām, filtrs Nr.5 no 10 kārtām, filtrs Nr.6 no 12 kārtām, filtrs Nr.7 no 14 kārtām un filtrs Nr.8 no 16 kārtām.

Precīzākai kataraktas simulācijai tika pētītas filtru optiskās īpašības un ietekme uz redzes asumu. Redzes asuma noteikšana ir svarīga, jo tieši redzes asums tiek uzskatīts par vienu no galvenajiem kataraktas attīstības pakāpes raksturlielumiem. Lai varētu novērtēt redzes asuma pasliktināšanos, tika noteikta filtra gaismas caurlaidība. Filtru caurlaidība tika mērīta ar kolorimetra *Konica Minolta CS100A* palīdzību, nosakot cauri filtram izgājušās gaismas spožumu (cd/m^2). Mērījumi tika apkopoti un no tiem tika izrēķināta caurlaidība, pieņemot, ka bez filtra ir maksimālā caurlaidība. Mērījumi tika veikti tumšā telpā, lai sānu apgaismojums neradītu neprecizitātes. Iegūtā caurlaidība attēlota 2.2.attēlā.

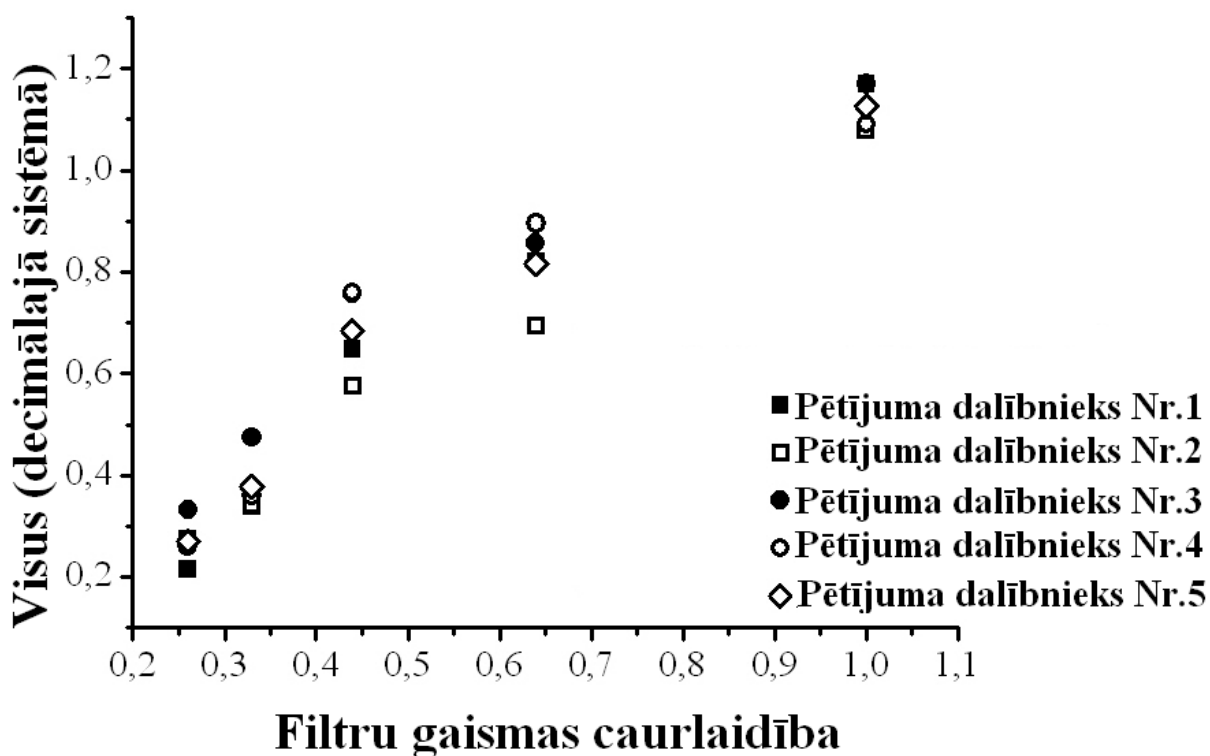


2.2.att. Filtru gaismas caurlaidība.

Redzes asuma mērīšanai ar filtriem tika izmantots *The Freiburg Visual Acuity Test* (FrACT) jaunākā versija 3.6.3. FrACT ir redzes asuma tests datorprogrammas veidā. Tajā tiek izmantotas psihometriskās metodes, tas ir apstiprināts un atbilst Eiropas Normām redzes

asuma pārbaudīšanā (EN ISO 8596).[39] Eksperimentam tika izvēlēts FrACT redzes asuma tests, pamatojoties uz tā augsto ticamību. Pētījumos noskaidrots, ka atšķirība starp datorizēto FrACT testu un Landolta C burtu tabulu ir tikai 0,025 logMAR vienības. Ņemot vērā starptautisko standartu DIN EN ISO 8597, kas nosaka, ka maksimālā atšķirība starp testiem nedrīkst pārsniegt 0,05logMAR vienības, testi tiek pieņemti par vienādiem. Salīdzinājumā ar Bailey-Lovie tabulu FrACT testa ticamība ir daudz augstāka. FrACT testam ir augsta reproducējamība un tas nosaka redzes asumu progresējošā skalā, kas nav limitēts kā tradicionālie redzes asuma pārbaudes testi. FrACT tests tiek ieteikts kā atsauce klīniskos redzes asuma pētījumos.[40]

Aplūkojot 2.3.attēlu, var redzēt redzes asuma izmaiņas, mērot ar dažādiem filtriem. Salīdzinot ar literatūrā pieejamajiem datiem, var secināt, ka mērījums, kas tika veikts bez filtra, kam raksturīgā caurlaidība ir 1, nav piemērota kataraktas simulācijai, jo redzes asums ir vidēji $1,13 \pm 0,025$ decimālajās vienībās. Savukārt mērījumu, kas veikti ar filtru, kura caurlaidība ir 0,64, vidējais redzes asums ir $0,82 \pm 0,04$ decimālajās vienībās un tas atbilst sākotnējās kataraktas redzes asumam. Filtrs Nr.4 ar caurlaidību 0,44 atbilst negatavas kataraktas raksturojumam, jo iegūtais redzes asums ar šo filtru ir $0,68 \pm 0,04$ decimālajās vienībās. Filtri ar caurlaidību 0,33 un 0,26 atbilst gandrīz gatavas kataraktas raksturojumam, jo to vidējais redzes asums svārstās intervālā no 0,3 līdz 0,1 decimālajās vienībās.[19]



2.3.att. Redzes asuma atkarība no filtra gaismas caurlaidības.

Uz 2001.gadu Eiropas Regulas 1. klases automašīnu vadītājiem noteica, ka redzes asumam labāk redzošajā acī jābūt vismaz 0,5 decimālajā sistēmā. Redzes asuma noteikšanas laikā telpas apgaismojumam jāatbilst 230-450 lx un mērījumiem jābūt atkārtotiem mezopiskos un skotopiskos apstākļos.[3]

Pamatojoties uz jaunāko pētījumu datiem un eksperimenta rezultātiem, turpmākiem mērījumiem tika izvēlēts filtrs Nr.4. Ar ceturto filtru iespējams simulēt negatavu kataraktu (*cataracta nondum matura*), kuras rezultātā pastāvošais redzes asums vēl var būt pieļaujams, vadot automašīnu.

2.5.2. Elektroretinogrāfijas ieraksts

Bakalaura darba eksperiments norisinājās Latvijas Univeristātes Optometrijas un Redzes zinātnes nodaļā. ERG ieraksts tika veikts divos posmos. Sākotnējie mērījumi tika veikti fotopiskos apstākļos, izvairoties no kļūdām, kas varētu rasties neprecīzas adaptācijas dēļ skotopiskiem apstākļiem. Mērījumi tika veikti pieciem pētījuma dalībniekiem. Lai mērījumi būtu pēc iespējas precīzāki, zīlīte tika paplašināta ar 0,5% *Mydriacyl* palīdzību. Paplašinot zīlīti tiek noteikts konstants tās lielums, ko neietekmē spilgtais gaismas zibsnis. Viens piliens *Mydriacyl* tika iepilināts nevadošajā acī, lai pēc eksperimenta pētījuma dalībnieka adaptācija normāliem apstākļiem būtu pēc iespējas ātrāka. Pie fotopiskās adaptācijas telpas apgaismojums bija 20 lx.

Sākot mērījumu, pētījuma dalībnieka āda (pie deniņiem un auss ļipiņās) tika notīrīta ar speciālu pastu. Notīrītajās vietās tika piestiprināti elektrodi – pie deniņiem referentais elektros, bet pie auss tika piestiprināts zemes elektrods. Acī, kurai tiek veikts mērījums, tika iepilināts viens piliens anestētiķa *Alcaine*. Pēc tam, kad radzenes anestēzija ir iedarbojusies, aiz apakšējā plakstiņa tiek ievietots aktīvais elektrods. Eksperimentā izmantojamais HK-loop elektrods, jau iepriekš izlocīts cilpas veidā, lai to ērtāk būtu ievietot aiz plakstiņa. Tiklīdz visi elektrodi ir ievietoti, ar specializētās Neuro-ERG datorprogrammas palīdzību tiek pārbaudīta elektrodu impedance.

Mērījumi tiek veikti, sākot no mazākās intensitātes, kas ir -1,5 log (aparātūra piedāvā vēl zemākas intensitātes stimulu līdz pat -3,0 log, taču fotopiskos apstākļos pie šīm intensitātēm ERG atbilde ir ļoti vāja). Mērījumi tiek veikti divās sērijās: ar filtru un bez filtra pie augošām stimula intensitātēm. Intensitātes tiek mainītas ar soli 0,2 log vienības. Spilgtais gaismas zibsnis tiek rādīts ar Mini-Ganzfelda kupola palīdzību, kas tiek novietots tieši pie acs. Spilgts gaismas zibsnis tiek rādīts ar frekvenci 0,5 Hz, zibsnis tiek rādīts piecas reizes, lai vidējotu mērījumus un mazinātu trokšņu ietekmi vai mirkšķināšanas radīto efektu. Mērījumi tiek veikti divas reizes.

Papildus mērījumi tika veikti arī skotopiskos apstākļos. Papildus mērījumiem tika izvēlēti vēl divi pētījuma dalībnieki. Veicot mērījumus skotopiskos apstākļos, pirms adaptācijas sākuma nevadošajā acī tika iepilināts viens piliens 0,5% *Mydriacyl*, pēc tam pievienoti referentais un zemes elektrods. Novērojot zīlītes paplašināšanos, tika iepilināts arī viens piliens 0,5% *Alcaine*. Pēc virsmas anestētiķa iepilināšanas aiz apakšējā plakstiņa tika ievietots aktīvais HK-loop elektrods. Tika izslēgta gaisma, izolēti visi iespējamie gaismas avoti un datora ekrāns, ar maksimāli samazinātu spožumu, aizgriezts prom no pētījuma dalībnieka. Pēc 20 min adaptācijas tumsas apstākļiem tika sākti mērījumi. Skotopiskos apstākļos, lai izvairītos no apžilbšanas, mērījumi tika sākti no intensitātes -3 log, un mainījās ar soli 0,5 log. Kad intensitāte sasniedza -1,0 log, solis tika samazināts līdz 0,2, lai varētu salīdzināt ar datiem, kas iegūti fotopiskos apstākļos. Lielākai precizitātei mērījumi tika atkārtoti trīs reizes.

Beidzot veikt mērījumus tumsas adaptācijā, tika ieslēgta gaisma un pēc 10 min adaptācijas gaismas apstākļiem, mērījumi tika atkārtoti. Tāpat kā pirmajā mērījumu sērijā, palielinoties intensitātei no -1,5 log līdz 0 log vienībām tika ierakstīta elektroretinogramma ar filtru un bez filtra.

2.6. Datu apstrāde

Dati tika apstrādāti ar *Microsoft Excel* programmu. Mērījumiem, kas veikti ar filtru un bez filtra, tika veikta statistiskās atšķirības novērtēšana ar *t-Test: Paired Two Sample For Means* palīdzību.

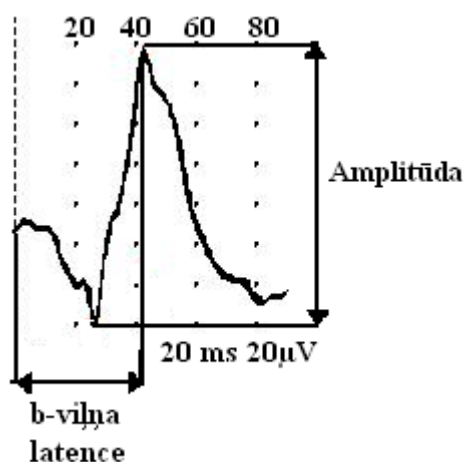
Attēlojot iegūtos rezultātus tika izmantota *OriginPro 8 SR0* programma. Ar šīs programmas palīdzību tika analizēta arī datu lineārā regresija un attēlotas standarta kļūdas.

Lai novērtētu mērījumu atkārtojamību, tika izmantots *intra-class* korelācijas koeficients(n), kas precīzāk raksturo mērījumu atkārtojamību nekā bieži izmantotais Spīrmana korelācijas koeficients (r). [41]

2.7. Rezultāti un to analīze

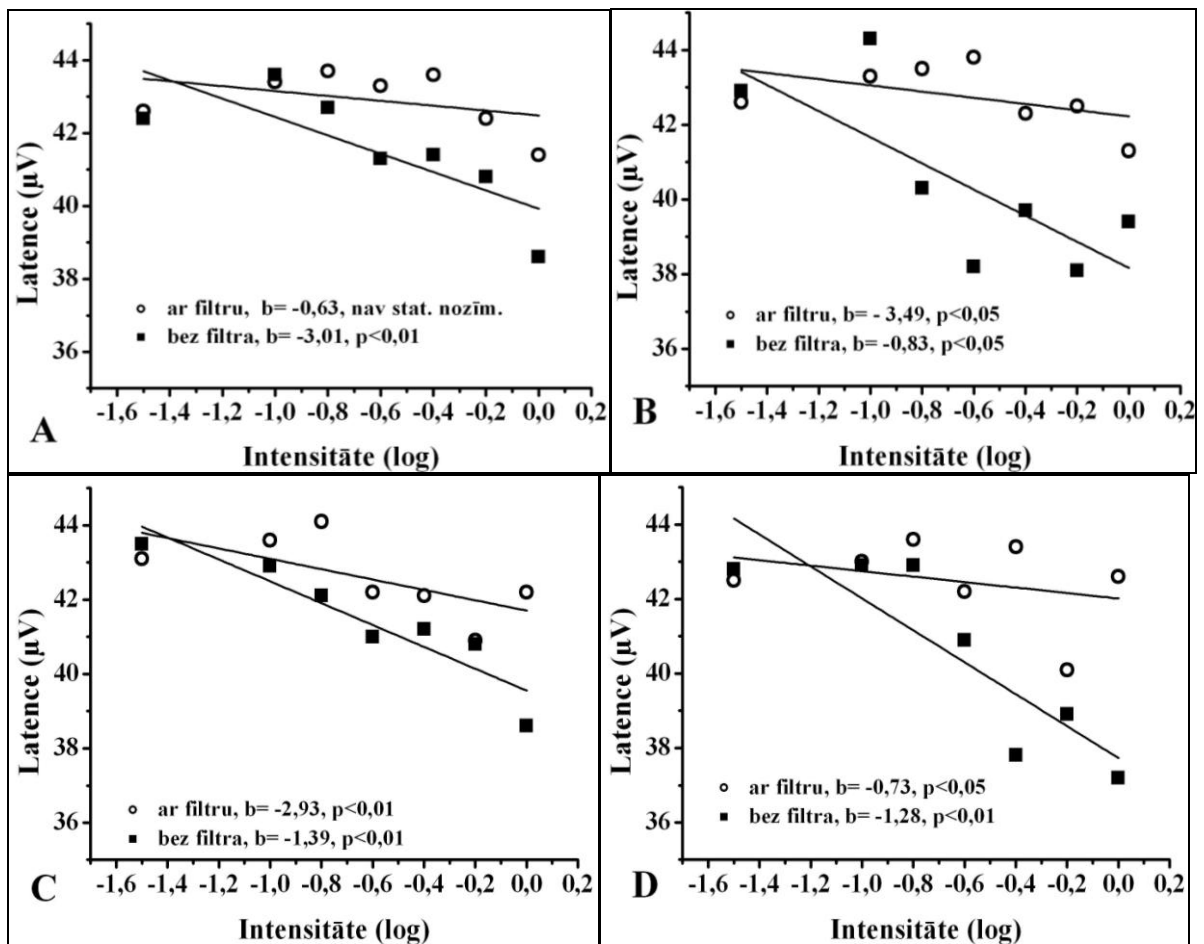
2.7.1. Latences lielumu novērtēšana

Veicot mērījumus ar elektrotretinogrāfijas metodi tiek iegūta potenciālu līkne, kas parādīta 2.4. attēlā. Atkarībā no metodē izmantotās adaptācijas vai gaismas intensitātes, līknes var atšķirties, taču visām tiek izšķirti būtiskākie atskaites punkti un raksturlielumi – b-viļņa latence un amplitūda. B-viļņa latence ir attēlota 2.4.attēlā un apzīmē signāla pārvadīšanas ātrumu, tas ir laiks no stimula parādīšanās brīža līdz noteiktas atbildes sākumam. Latenci izsaka milisekundēs (ms). Amplitūda ir signāla stiprums, ko izsaka mikrovoltos (μV) un aprēķina kā starpību starp a-viļņa un b-viļņa maksimumiem.



2.4.att. Tipiska ERG atbilde spilgta gaismas zibšņa stimula līkne ar galvenajām komponentēm – latenci un amplitūdu. Attēlotais mērogs ir 20 ms uz 20 μV .

Salīdzinot pētījumos pieejamos datus ar eksperimentā iegūtajiem var redzēt, ka latences pilnībā sakrīt[37]. Aplūkojot 2.5.attēlu var novērot b-viļņa latences atkarībā no stimula intensitātes. Palielinoties stimula intensitātei, elektrotretinogrammas latences regresē. Regresijas analīze pierāda, ka visi punkti ir atšķirīgi no nulles. 2.5.attēlā pie katra no pētījumu dalībnieku datiem norādīti mērījumi ar filtru un bez filtra, kā arī regresijas līkne. Grafikos ir attēloti slīpuma koeficienti (b) un varbūtība (p). Aplūkojot 2.5.attēlu A var redzēt, ka mērījumiem, kas veikti ar filtru atšķirība no nulles nav statistiski nozīmīga. Visiem pētījuma dalībniekiem iegūtās latences ir līdzīgas, tādēļ attēloti ir tikai četri pirmie rezultāti, kas tika iegūti. Veicot mērījumus ar filtru, novērojams latenču pieaugums, salīdzinot ar mērījumiem bez filtra. Atšķirība starp punktiem, kas mērīti ar gaismu izkļedējošo filtru un bez filtra nav statistiski nozīmīga.



2.5.att. Pētījuma dalībnieku latences atkarībā no intensitātes. A) Pētījuma dalībnieks Nr.1; B) Pētījuma dalībnieks Nr.2; C) Pētījuma dalībnieks Nr.3; D) Pētījuma dalībnieks Nr.4.

Salīdzinot ar citu autoru pētījumiem, visos pierādās, ka acī ar kataraktu vai gaismu izkliedējošu filtru latences būs augstākas, kas varētu būt skaidrojams ar to, ka acī „noklīdusī” gaisma tīklieni sasniedz vēlāk, kas rada latenču novirzi. Turpmākā darba analīzē latences netiek minētas, jo galvenais ERG atbildes raksturlielums ir amplitūda.

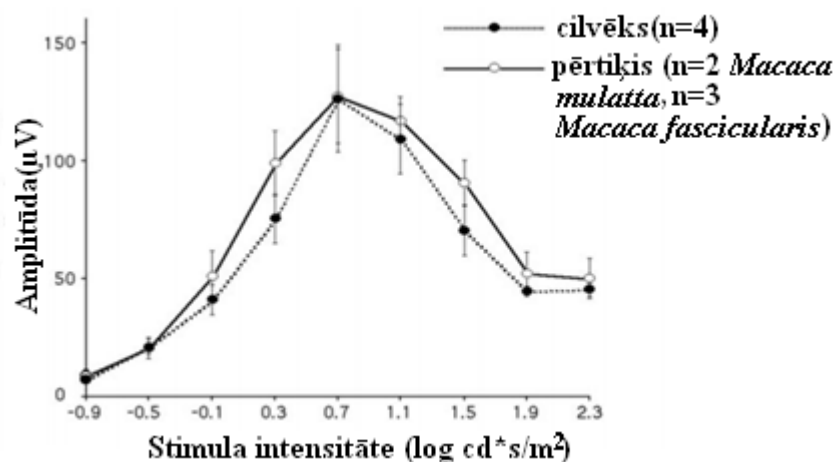
2.7.2. ” Fotopiskais kalns”

Uzsākot mērījumus tika sagaidīts, ka mērījumu amplitūda pieaugs atbilstoši pieaugošajām stimula intensitātēm. Taču aplūkojot jebkura pētījuma dalībnieka mērījumu amplitūdas, var novērot, ka pie zemākām stimula intensitātēm amplitūdas ir ievērojami augstākas nekā pie augstākām stimula intensitātēm.

Shanji Ueno et.al. norāda, ka intensitātes-ERG atbildes funkcija fotopiskos apstākļos ir samērā sarežģīta funkcija, jo pie zemākām un vidējām intensitātēm, b-viļņa amplitūda pieaug kā gaidīts - palielinoties stimula intensitātei. Taču jau pie lielākām stimula intensitātēm, amplitūda negaidīti samazinās. Šis savādais fenomens, kas raksturīgs cilvēka ERG-atbildei fotopiskos apstākļos tika nosaukts par *Photopic hill* jeb par „fotopisko kalnu”(2.6.attēls). Jaunākie pētījumi vēsta, ka šis fenomens ir novērojams tikai pie spilgta gaismas zibšņa stimuliem un parādās arī pie dažādiem adaptācijas apstākļiem. Konkrēts „fotopiskā kalna” mehānisms vēl nav noskaidrots, taču pastāv vairākas tā izcelsmes versijas: negatīvā a-viļņa un pozitīvā b-viļņa summācija, depolarizēto un hiperpolarizēto bipolāro šūnu mijiedarbība un OFF-atbildes samazināšanās pieaugot stimula intensitātei.[42]

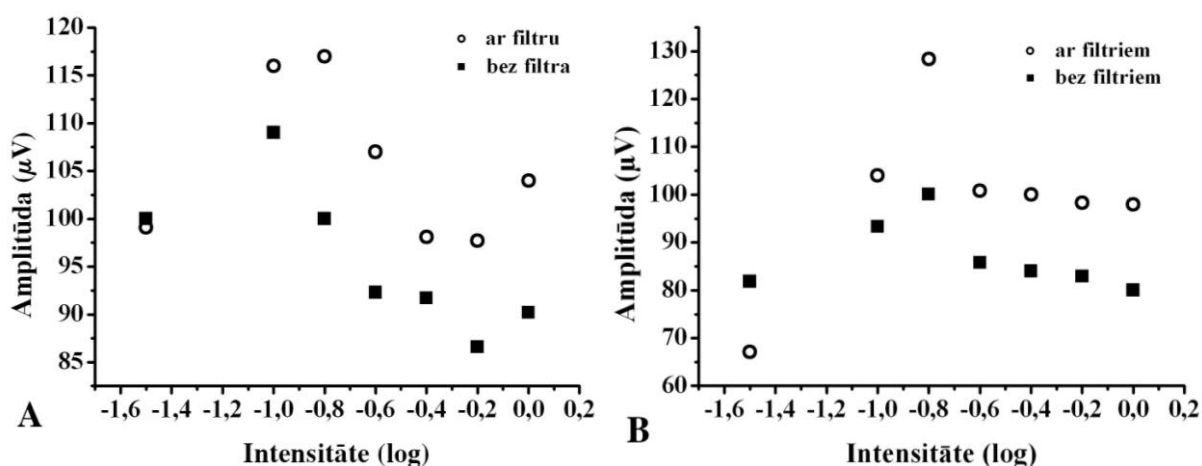
Shanji Ueno et.al. noskaidroja, ka „fotopiskā kalna” efekts tiek panākts, pamatojoties uz postreceptoro ON un OFF ceļu neirālo aktivitāti. Pie zemas un vidējas intensitātes stimuliem veidojas divas b-viļņa pīķi, kas summējoties rada amplitūdas pieaugumu. Savukārt pieaugot stimula intensitātei, ON-komponentes radītais signāls kļūst mazāks. OFF komponentes pozitīvais pīķis pieaugot intensitātei, veidojas būtiski vēlāk, nedodot ieguldījumu b-viļņi, kā rezultātā novērojama b-viļņa amplitūdas samazināšanās.[42]

Attēls 2.6. parāda jaunāko literatūras avotu pētījumā iegūtos datus, kas veikti cilvēkiem un pērtiķiem.



2.6. att. „ Fotopiskais kalns.”(atsauce)

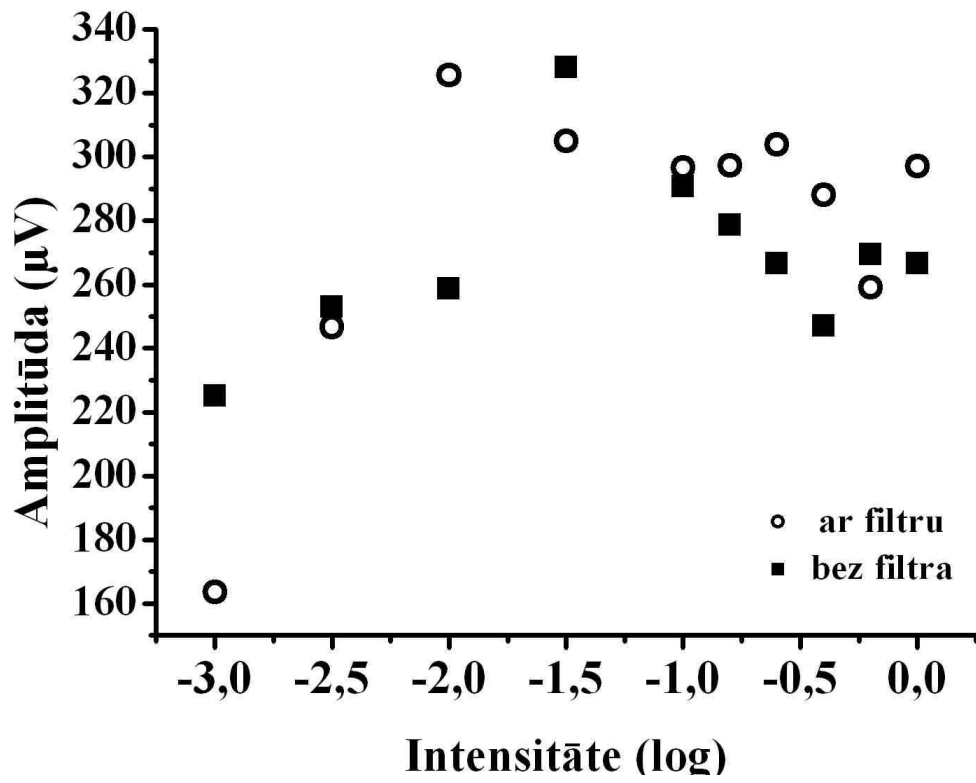
Aplūkojot pētījuma dalībnieku Nr.5 un Nr.6 ERG atbildes amplitūdas (2.7. attēls) atkarību no intensitātes, var novērot, ka pie intensitātes $I=-0,8$ log redzami atbilžu maksimumi. Attēlā 2.7. attēlotas amplitūdas mērījumiem ar filtru un bez filtra, var redzēt, ka pie intensitātēm, kas zemākas par $-0,8$ log vienībām novērojams amplitūdas pieaugums. Taču sākot no $-0,6$ log vienībām novērojams amplitūdas samazinājums. Jāatzīmē, ka vienības ir grūti salīdzināmas ar tām, kas norādītas attēlā 2.6., jo katra log vienības atbilst atšķirīgām gaismas intensitātēm. Attēlojot pētījuma dalībnieku datus grafiski, amplitūdu samazināšanās, pieaugot stimula intensitātei, novērojama visos gadījumos, taču 2.7.attēlā parādīti tikai spilgtākie „fotopiskā kalna” piemēri, jo attēlo arī augšupejoši „kalna” daļu pie zemākās no intensitātēm. Pētījuma dalībniekiem Nr.1, Nr.2, Nr.3, Nr.4 redzams tikai amplitūdas samazinājums, kas raksturo „kalna” lejupejošo daļu, tādēļ jāsecina, ka precīzākai „fotopiskā kalna” attēlošanai vajadzētu veikt mērījumus arī zemākā stimula gaismas intensitātē.



2.7.att. *Photopic hill* jeb „fotopiskais kalns”. A) Pētījuma dalībnieka Nr.5 „Fotopiskais kalns” gaismas adaptācijā. B) Pētījuma dalībnieka Nr.6 „Fotopiskais kalns” gaismas adaptācijā.

Pētījuma dalībnieka Nr.6 datu savstarpējās korelācijas starp pirmo un otro mērījumu ir 0,8 ar filtru un 0,88 bez filtra, savukārt pētījuma dalībnieka Nr.5 datu korelācija ar filtru ir 0,86, bet bez filtra 0,95. Salīdzinot *intra-class correlation* koeficientus var redzēt, ka dati, kas iegūti mērījumos bez filtra savā starpā korelē labāk nekā mērījumi ar filtru.

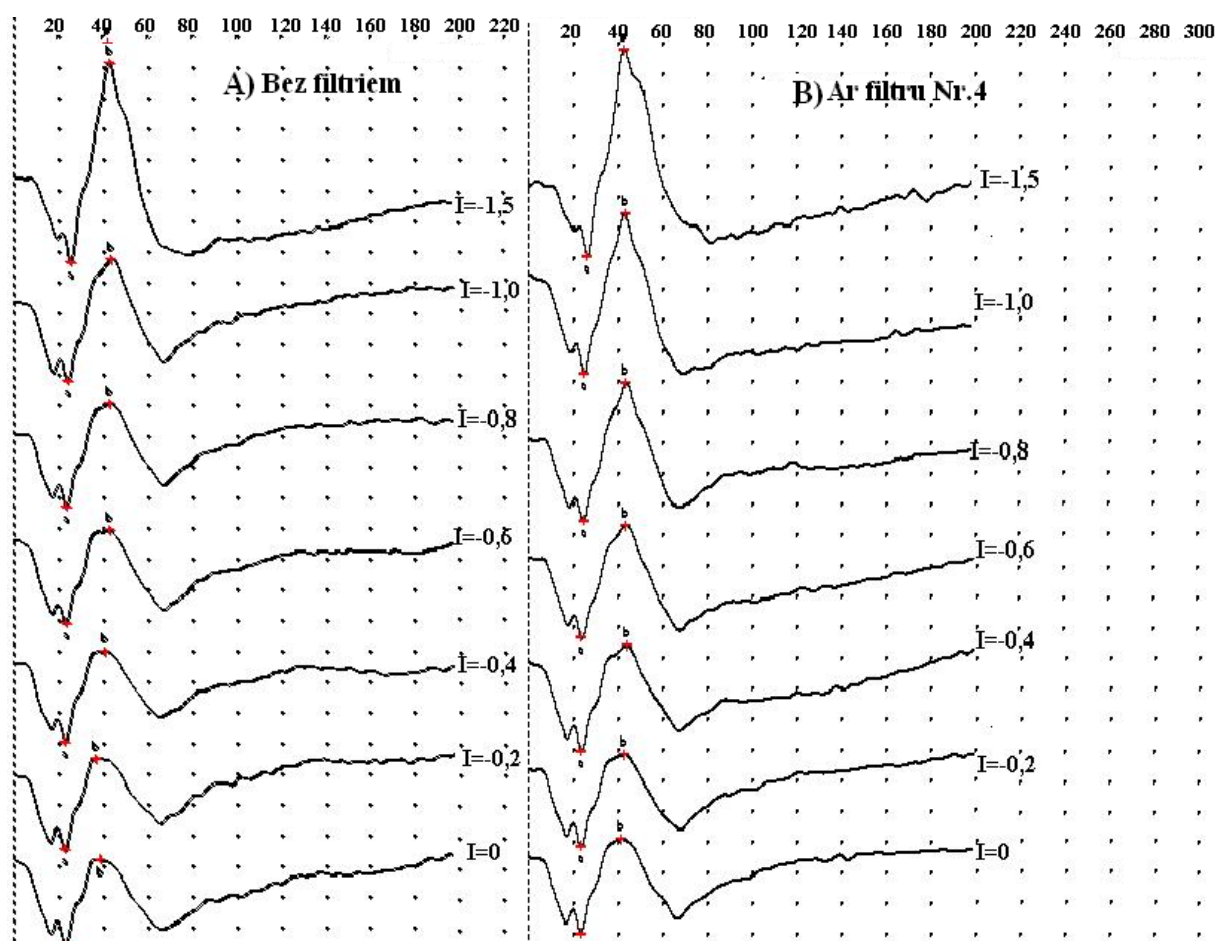
Arī tumsas adaptācijā veiktajos mērījumos iespējams saskatīt „fotopisko kalnu”. Tā kā skotopiskos apstākļos mērījumi tika veikti, sākot ar minimālo pieejamo gaismas intensitāti, kas ir $-3,0$ log vienībām un tika palielināti ar soli $0,5$ log vienības, attēls 2.8. spilgtāk parāda amplitūdas pieaugumu, palielinoties intensitātei. Jāsecina, ka „fotopiskā kalna” fenomens var parādīties arī pie citiem adaptācijas apstākļiem, ne tikai gaismas adaptācijā.



2.8. att. „Fotopiskais kalns” pie adaptācijas tumsas apstākļiem.

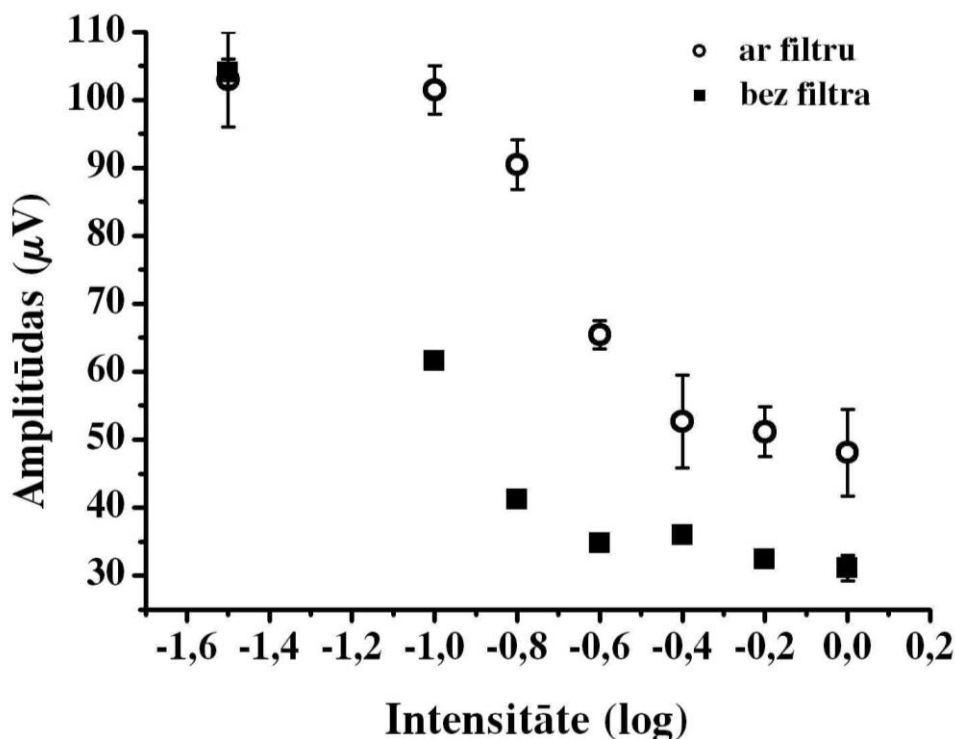
2.7.3. Rezultāti mērījumiem ar gaismu izkliedējošu filtru

Elektroretinogrāfijas ieraksts tika veikts pieaugošās intensitātēs ar filtru un kā kontroles mērījumi tika veikti arī bez filtra. 2.9. attēlā A redzama pirmā pētījuma dalībnieka elektroretinogramma kontroles mērījums un attēlā B mērījums ar gaismu izkliedējošu filtru. Aplūkojot elektroretinogrammas var redzēt, ka ar sarkanu ir atzīmēti a un b viļņu maksimumi, var novērot, ka pie zemākām intensitātēm pīķi ir asāki un izteiktāki nekā pie augstām intensitātēm, līdz ar to arī amplitūdas pie zemām intensitātēm ir daudz augstākas. Amplitūdu pieaugums pie zemākām gaismas intensitātēm tiek skaidrots ar „fotopiskā kalna” efektu.



2.9.att. Pirmā pētījuma dalībnieka elektroretinogrammas. A) ERG ieraksts bez filtra; B) ERG ieraksts veikts ar filtru acs priekšā. Mērogs – 20ms 20 μ V.

ERG atbildes amplitūda ar filtru un bez filtra attēlota 2.10.attēlā. B-viļņa amplitūda mērījumos, kas veikti ar filtru amplitūdas ir augstākas nekā kontroles mērījumiem, kur filtrs netika izmantots. Apstrādājot datus atklājās, ka atšķirība starp datiem ir statistiski nozīmīga. 2.10.attēls parāda pētījuma dalībnieku Nr.1, taču visiem pētījuma dalībniekiem novērojama līdzīga tendence. Visiem ERG ierakstiem raksturīga b-viļņa amplitūdas samazināšanās palielinoties stimula intensitātei. *Intra class-correlation coefficient* norāda, ka datu savstarpējā korelācija mērījumos ar filtru ir 0,92, bet bez filtra ir zemāka – 0,99.



2.10.att. Amplitūdas atkarība no stimula intensitātes pētījuma dalībniekam Nr.2.

Apstrādājot datus ar t-Testu, noskaidrojās, ka atšķirība starp amplitūdām, kas iegūtas mērot ar gaismu izkliedējošo filtru un bez ir statistiski nozīmīga visiem pētījuma dalībniekiem ($p < 0,05$). Amplitūdas pieaugumu kataraktas gadījumā mēdz skaidrot ar gaismas izkliedes pieaugumu, ko rada lēcas apduļķojumi. Ienākot acī, gaisma tiek izkliedēta vairāk uz perifēriju, kā rezultātā tīklenes centrālā daļa saņem mazāk informācijas par attēlu. Iegūtais attēls uz tīklenes ir neskaidrāks, blāvāks. Šis neparastais fenomens jau gadiem ilgi maldinājis izcilus pētniekus, jo kā tika minēts pirmajā nodaļā, tad ir pētījumi, kas liecina, ka kataraktas gadījumā elektroretinogrammas atbilde pieaug, ir pētījumi, kas liecina, ka samazinās. Taču jaunākie pētījumi apgalvo, ka nav atšķirības starp datiem, kas veikti kataraktas gadījumā un veselā acī. Jāsecina, ka gaismas izkliedes ieguldījums ERG atbildē ir paaugstinātas amplitūdas.

Labākai absorbcijas novērtēšanai, tika analizēta ERG atbildes atkarība no filtra caurlaidības un gaismas intensitātes izmaiņām. Noskaidrojot galvenos ERG atbildi ietekmējošos mehānismus – optiskos un neirālos tika kompensēts filtra radītais efekts, ņemot vērā gaismas radītos zudumus. Gaismas absorbcija ir viens no galvenajiem optiskajiem faktoriem, kas samazina līdz tīklenei nokļuvušās gaismas daudzumu. Lai kompensētu filtru tika veiktas sekojošas matemātiskas darbības:

1. Pētījuma ietvaros tika normalizētas logaritmiskās mērvienības, aprēķinot logaritma vērtību no gaismas intensitātes. Piemēram, ja gaismas intensitāte ir -1,5 log vienības, tad izrēķinot logaritma vērtību tā ir 0,03. Rēķina gaita:

$$\text{Logaritma vērtība: } 10^{-1,5} = 0,03$$

2. Iegūtais skaitlis tika reizināts ar filtra caurlaidību, kas tika aprēķināta jau pētījuma sākumā. Reizinot gaismas intensitātes normālo vērtību ar caurlaidību, tiek kompensēts filtra radītais gaismas zudums. Turpmākiem mērījumiem izvēlēta filtra Nr.4 gaismas caurlaidība ir 0,44. Pēc aprēķinu veikšanas kompensētā vērtība sanāk 0,018. Rēķina gaita:

Kompensēta filtra radītais gaismas zudums: $0,44 * 0,03 = 0,018$

3. Lai varētu iegūtos lielumus salīdzināt ar sākotnējām gaismas intensitātes mērvienībām tās atkal tika logoritmētas. Rēķina gaita:

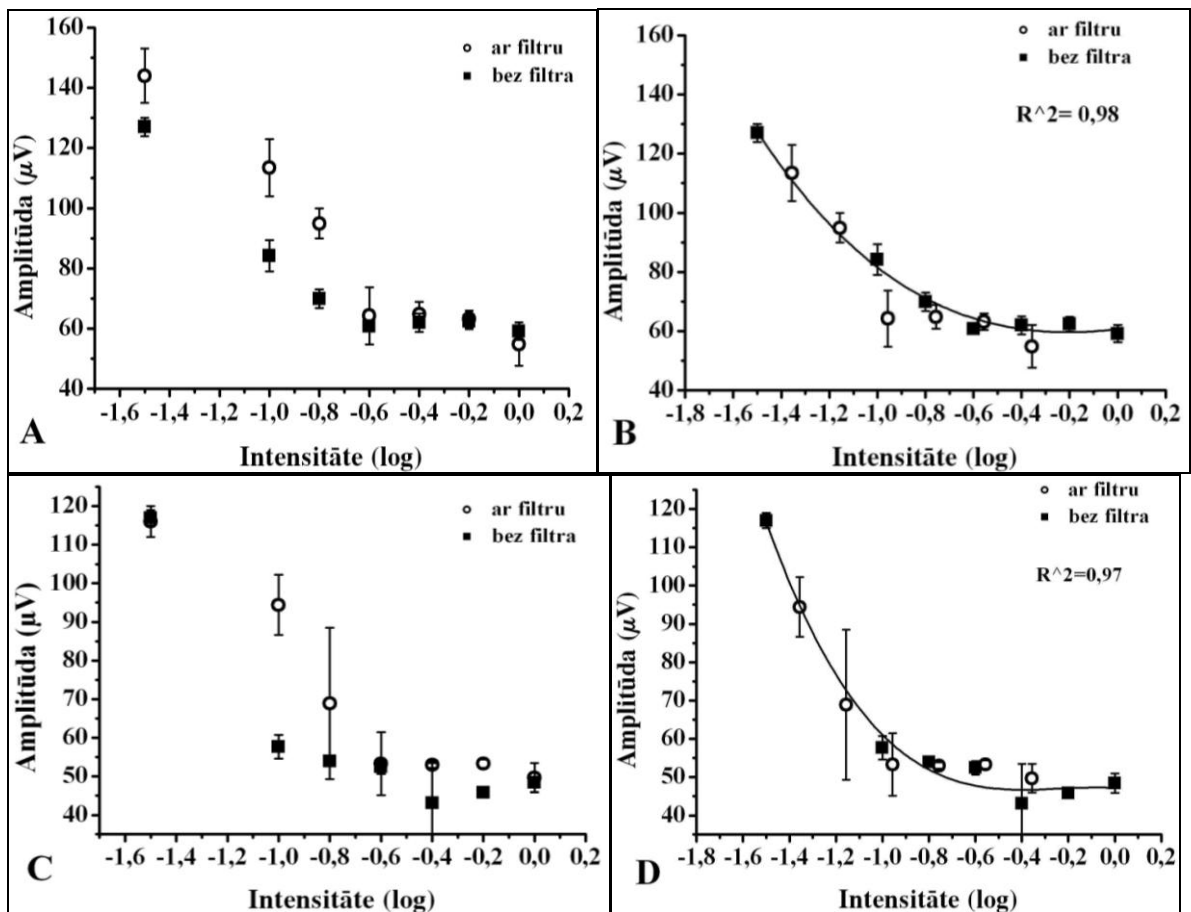
Kompensētās filtra radītās gaismas izkliedes intensitātes vērtības: $\log(0,018) = -1,86$

Rezultātā var redzēt, ka $-1,5 \log$ stimula gaismas intensitātes, ar filtra palīdzību tiek samazinātas līdz $-1,86 \log$.

Filtra radītā efekta kompensēšanu iespējams izteikt formulā 2.1, kur I- stimula gaismas intensitāte:

$$\text{Filtra efekts} = \log((10^I) * 0,44)$$

Piemērojot jauniegūtās intensitātes 2.11.attēlā, var redzēt, ka mērījumi, kas veikti ar filtru, pārklājās ar mērījumiem, kas veikti bez filtra. Lai datus varētu salīdzināt ar statistikas metodēm, mērījumiem, kas veikti bez filtra, tika piemeklēta funkcija, kas visprecīzāk raksturo amplitūdu izmaiņas atkarībā no stimulu intensitātes (att.2.11. B un D). Izmantojot atrasto funkciju, tika aprēķinātas amplitūdas vērtības pie intensitātēm, kuras tika pārrēķinātas, ņemot vērā filtra radītos gaismas zudumus. Izmantojot *paired t-test*, aprēķinātās vērtības tika salīdzinātas ar amplitūdas vērtībām, iegūtām ar filtru. Tests neuzrādīja statistiski nozīmīgu atšķirību starp amplitūdas vērtībām. Jāsecina, ka galvenais optiskais faktors, kas ietekmē ERG atbildi mērījumos ar filtru, ir gaismas absorbcija. Līdz ar to, var secināt, ka amplitūdu pieaugumu mērījumos ar filtru var izskaidrot ar palielinātu tīklenes neirālo atbildi, samazinoties gaismas intensitātei.



2.11.att. A) Pētījuma dalībnieka Nr.1. amplitūdas atkarība no gaismas intensitātes mērījumos ar filtru un bez filtra, kā arī kompensējot filtra radīto efektu(B). C)Pētījuma dalībnieka Nr.3. amplitūdas atkarība no gaismas intensitātes mērījumos ar filtru un bez filtra, kā arī kompensējot filtra radīto efektu(D).

Secinājumi

1. Izveidotais filtrs ļauj simulēt negatavu kataraktu, pie kuras redzes asums parasti ir robežās no 0,4-0,7 (dec. vienības). Ar filtru iegūtais vidējais redzes asums bija robežās no 0,58-0,75 (vidējā vērtība $0,68 \pm 0,04$).
2. Fotopiskos apstākļos ERG amplitūdas atkarībā no stimula intensitātes mainās nelineāri – pie vājām un spožām intensitātēm ir novērojamas zemākas amplitūdas nekā pie vidējām. Iegūtie rezultāti sakrīt ar citu autoru pētījumiem, kuros šis fenomens tiek saukts par „fotopisko kalnu” (*photopic hill*).
3. Mērījumos ar gaismu izkļiedējošo filtru novērojamas statistiski nozīmīgi lielākas ($p < 0,05$) ERG amplitūdas nekā mērījumiem normālos apstākļos.
4. Ņemot vērā gaismas zudumus mērījumos ar filtru un pārrēķinot stimula intensitāšu vērtības, tika iegūts, ka ERG amplitūdas būtiski neatšķiras no mērījumiem, kas veikti bez filtra.
5. Rezultāti parāda, ka iegūtās ERG amplitūdas izmaiņas mērījumos ar filtru lielā mērā ir skaidrojamas ar tīklenes neirālās aktivitātes izmaiņām atkarībā no apgaismojuma līmeņa.

Nobeigums

Izvērtējot padarīto, jāsecina, ka tīklenes neirālo procesu loma ERG atbildē ir augstāka nekā optisko faktoru radītā gaismas izkliede un absorbcija.

Izmantojot ERG metodi klīnikā, tiek ieteikts lietot dažādus adaptācijas apstākļus, lai novērtētu interesējošās tīklenes daļas. Kā tika noskaidrots pētījumā, tad pielietojot noteiktas intensitātes stimulu un konkrēto adaptāciju, var noteikt, kādi neirāli procesi notiek tīklenē. Jāpiebilst, ka iegūtie secinājumi nav pilnībā attiecināmi uz kataraktas pacientiem, jo kataraktas atbilstība parasti ir ilgstošs process, kura gaitā notiek arī tīklenes adaptācija. Tādēļ filtrs, kas tiek novietots acs priekšā uz īsu laika sprīdi, nav pilnībā attiecināms uz acs lēcas procesu, kas var ilgt vairāku gadu garumā.

Tēmas aktualitāte ar katru dienu aizvien pieaug, meklējot jaunus risinājumus kataraktas novērtēšanā ar elektroretinogrāfijas metodi. Turpmākiem mērījumiem būtu jāizanalizē stimula loma uz elektroretinogrammu, piedāvājot dažādus stimulus. Noderīgi būtu izvērtēt perifērijas ieguldījumu ERG atbildē, izmantojot stimulus ar dažādu laukumu, pētot vai mazāka izmēra stimuli šķiet spožāki nekā lielāki.

Bakalaura darba tapšanas laikā tika atklāti daudzi interesanti fakti un teorijas par kataraktu, gaismas optiskajām īpašībām, elektroretinogrāfiju, tīklieni un procesiem tajā.

Pateicības

Vēlos pateikties Latvijas Universitātes Fizikas un Matemātikas fakultātes Optometrijas un Redzes zinātnes nodaļas mācībspēkiem par iespēju studēt redzes zinātni un iegūt zināšanas par redzes attīstību un procesiem.

Ļoti liela pateicība darba vadītājam Gatim Ikauniekam par piedāvāto tēmu, atbalstu un ieteikumiem darba tapšanas gaitā.

Paldies pētījuma dalībniekiem, kas piedalījās eksperimentos.

Izmantotā literatūra

1. **Christian Nishler, Ralph Mitchael, Christine Wintersteller, Patric Marvan, Martin Emesz, Laurentius J Van Rijn, Thomas J.T.P. van den Berg, Helmut Wilhelm, Tanja Coeckelbergh, Rafael I. Barraquer, Gunther Grabner, Wolfgang Hitzl.**(2010) *Catract and pseudophakia in elderly European drivers*. Journal of Ophthalmology, 2010, 20(5); 892-901
2. **Ellen E. Freeman, Beatriz Munõz, Kathleen A. Turano, and Sheila K. West.**(2006) *Measures of Visual Function and Their Association with Driving Modification in Older Adult*. IOVS, February, Vol. 47, No. 2
3. **Tina Bal, Tanja Coeckelbergh, Jan Van Looveren, Jos J. Rozema, Marie-Jose Tassignon.** *Influence of Cataract Morphology on Straylight and Contrast Sensitivity and Its Relevance to Fitness to Drive*. Documenta Ophthalmologica 2011; No.2., 225; 105-111.
4. **Hess RF, Thompson B, Gole GA, Mullen KT.** *The amblyopic deficit and its relationship to geniculo-cortical processing streams*. Journal of Neurophysiology. 2010; 104(1): 475-83
5. **A.M. Binns, K.E. Mortlock, R.V. North.** *The relationship between stimulus intensity and response amplitude for the photopic negative response of the flash electroretinogram*. Documenta Ophthalmologica, 2011, 122; 39-52.
6. **Burian,H.M. & Burns,C.** *Electroretinography and dark adaption in patients with cataract*. Documenta Ophthalmologica, 1966, 21: 1-15
7. **Michael Bach & Marcel Mathieu.** *Different effect of dioptric defocus vs. Light scatter on the Pattern Electroretinogram (PERG)*. Documenta Ophthalmologica, 2004, 108, 99-106.
8. **Tanapat Ratanapakorn MD, Tanikarn Patarakittam MD, Suthasinee Sinawat MD, Thuss Sanguansak MD, Chavakij Bhoomibunchoo MD, Supat Kaewpanna, Yosanan Yospaiboon MD.** *Effect of Cataract on Electroretinographic Response*. Journal of. Medicine Association, Thailand; 2010; 93(10); 1196-9
9. **Ido Perlman.** *The Electroretinogram: ERG*. [tiešsaiste]. May 1, 2001; Last update: June 27, 2007–[atsauce 20.02.2011]. Pieejams: <http://retina.umh.es/webvision/ERG.html>
10. **Paul B. Griggs, MD,** Re: Electroretinography In: *MedlinePlus* [tiešsaite], Department of Ophthalmology. Update Date: 8/22/2008,– [atsauce 20.10.2010]. Pieejams: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/003388.htm>

11. **M. F. Marmor, A. B. Fulton, G. E. Holder, Y. Miyake, M. Brigell, M. Bach.** Re: ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2008 update). In: *ISCEV*. [tiešsaite] Publicēts: 22/11/2008.
Pieejams: http://iscev.org/standards/pdfs/ERG_standard_2008.pdf
12. **Donnell Creel**, Re: Clinical Electrophysiology, In: *Webvision*. [tiešsaite], May 1, 2005; Update: July 2, 2007, Pieejams: <http://retina.umh.es/webvision/index.html>
13. **Byron L. Lam**, *Electrophysiology of Vision*, Taylor & Francis Group, Florida, U.S.A., 2005., 8 p
14. **John Sheppard**, Re: Electroretinography. In: *MedicineNet.com* [tiešsaite] – [atsauce 20.10.2010]. Pieejams: <http://www.medicinenet.com/electroretinography/article.htm>
15. **Daphne L McCulloch, Gretchen B Van Boemel & Mark S Borchert.** *Comparisons of contact lens, foil, fiber and skin electrodes for patterns electroretinograms*. *Documenta Ophthalmologica* 1998, 94: p.327-340
16. **Adriana Berezovsky, Josenilson Martins Pereira, Solange Rios Salomao, Vagner Rogerio Santos, Paulo Schor.** *Validation of new fiber electrode prototype for clinical electroretinography*. *Arq Bras Oftalmol.* 2008;71(3): 316-20
17. **Hawlina M, Konec B.** *New noncorneal HK-loop electrode for clinical electroretinography.*, *Documenta Ophthalmologica.*, 1992; 81(2); 253-9.
18. **G. A. Fishman, D.G. Birch, G.E. Holder, M. G. Brigell.** *Electrophysiologic Testing in Disorders of the Retina, Optic Nerve and Visual Pathway*. Second Edition. 1990. American Academy of Ophthalmology. Printed in Singapore. 21 lpp.
19. **Guna Laganovska**, *Acu slimības*, Rīgas Stradiņu Universitātes (RSU) profesores Gunas Laganovskas redakcijā 2008; SIA „Nacionālais apgāds”, lpp.169-187.
20. **Vicente Victor D Ocampo, C Stephan Foster**, Re: Cataract, Senile, Updated in Feb 4, 2011 In: *EMedicine from WebMD*, [tiešsaite]. [atsauce 15.03.2011] <http://emedicine.medscape.com/article/1210914-overview>
21. Alcon. Alcon.com Web site. Alcon's approach.com: Accessed November 1, 2010. <http://www.reclaimyourvision.com/what-causes-cataracts.aspx>
22. **Sonja Cekic, Gordana Zlatanovic, Tatjana Cvetkovic, Branislav Petrovic.** *Oxidative Stress in Cataractogenesis*. *Bosnian Journal of Basic medical sciences* 2010; 10(3); 265-269
23. **Khumbo Kalua, Robert Lindfield, Maxwell Mtupanyama, Davie Mtumodzi, Vincent Msiska.** *Findings from a Rapid assessment of avoidable blindness (RAAB) In: Southern Malawi.*; Published in 2011, April 25,

24. **Lucio Buratto, Liliana Werner, Maurizio Zanini, David Apple.** Phacoemulsification: Principles and Techniques, Second Edition., SLACK Incorporated, 754 lappuses - lpp.37
25. **Klein BE, Klein R, Linton KL.** *Prevalence of age-related lens opacities in a population.* The Beaver Dam Eye Study. Department of Ophthalmology, University of Wisconsin, Madison. *Ophthalmology.* 1992 Apr;99(4):546-52.
26. **Nischler C, Michael R, Wintersteller C, Marvan P, Emesz M, Van Rijn LJ, van den Berg TJ, Wilhelm H, Coeckelbergh T, Barraquer RI, Grabner G, Hitzl W.** *Cataract and pseudophakia in elderly European drivers.* *European Journal of Ophthalmology.* 2010; 20(5):892-901.
27. **Congdon N, Vingerling JR et al.** *Prevalence of cataract and pseudophakia/aphakia among adults in the United States.* *Arch Ophthalmol.* 2004;122(4):487-94.
28. **West SK, Valmadrid CT.** *Epidemiology of risk factors for age-related cataract.* *Surv Ophthalmol.* 1995; 39(4):323-34.
29. **Lasa MS, Datiles MB III et al.** *Potential vision tests in patients with cataracts.* *Ophthalmology.* 1995 Jul;102(7):1007-11.
30. In: Cool Health Tips, [tiešsaiste] Posted in October 13th 2010. Pieejams uz 15.12.2010 <http://www.coolhealthtips.com/cataract-causes-symptoms-and-treatment.html>
31. **Regan D, Giaschi DE et al.** *Measurement of glare sensitivity in cataract patients using low-contrast letter charts.* *Ophthalmic Physiol Opt.* 1993;13(2): 115-23.
32. **Rober Sachs,** Re:Cataract, In: *Life Extension*, [tiešsaite] 2008 [Pieejams: 23.11.2010] <http://www.lef.org/protocols/prtcl-030a.shtml>
33. **Wesemann W,** *Visual acuity measured via the Freiburg visual acuity test (FVT), Bailey Lovie chart and Landolt Ring chart.* *Klin Monatsbl Augenheilkd;* 2002 , 219(9); 660-7.
34. **Jos. J. Rozema, Thomas J.T.P. Van den Berg, and Marie-Jose Tassignon.** *Retinal Straylight as a Function of Age and Ocular Biometry in Healthy Eyes.* *Investigative Optometry & Vision Science.* 2010, Vol.51, No.5
35. **Luuk Franssen, Joris E. Coppens and Thomas J.T.P. van den Berg.** *Comparision Method for assessment of retinal straylight.* *Investigative Ophthalmology & Visual Science,* 2006, Vol.47, No.2.
36. **Luuk Franssen, Juan Tabernero, Joris E. Coppens and Thomas J.T.P. van den Berg.** *Pupil size and retinal straylight in the normal eye.* *Investigative Ophthalmology & Visual Science,* 2007, Vol. 48, No.5.
37. **R. H. S. Carpenter, J. G. Robson.** *Vision Research, a practical guide to laboratory methods.* Oxford University Press 1999.

38. Нейрософт , Нейро-ЭРГ , Отдел электрофизиологии ММА им. Сеченова / г. Москва (академик М.А. Ронкин); <http://www.neurosoft.ru/rus/product/neuro-erg/index.aspx>
39. **Bach M** Freiburg Visual Acuity & Contrast test ('FrACT'), 2002; Pieejams[10.03.2011] (<http://www.michaelbach.de/fract.html>)
40. **Wesemann W**, *Visual acuity measured via the Freiburg visual acuity test (FVT), Bailey Lovie chart and Landolt Ring chart*. Klin Monatsbl Augenheilkd; 2002, 219(9); 660-7.
41. **Richard A. Armstrong, DPhil and Frank Eperjesi**. *Data methods in optometry, Part 5: Correlation*. Clinical, 2005, February.
42. **Shinji Ueno, Mineo Kondo, Yasuhiro Niwa, Hiroko Terasaki and Yozo Miyake**. *Luminance Dependence of Neural Components that Underlies the Primate Photopic Electretinogram*. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2004, Vol 45, No.3.

Bakalaura darbs „Gaismas izkliedes ietekme uz elektroretinogrammu” izstrādāts LU Fizikas un Matemātikas fakultātē, Optometrijas un Redzes zinātnes nodaļā.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Zanda Meškovska

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Dr. phys. Gatis Ikaunieks

Recenzents: docents, Dr. phys. Vitolds Grabovskis

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā 2011.gada

Metodiķe: Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

2011.gada prot. Nr. ____, vērtējums _____

Komisijas sekretārs: docents Dr. phys. Pēteris Cikmačs