



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Valdas Valuckis**

**OPTINIO NERVO MORFOMETRINĖ ANALIZĖ AKIES  
ULTRAGARSINIUOSE VAIZDUOSE**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

prof. Algimantas Kriščiukaitis

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**OPTINIO NERVO MORFOMETRINĖ ANALIZĖ AKIES  
ULTRAGARSINIUOSE VAIZDUOSE**

Baigiamasis magistro projektas  
Biomedicininė inžinerija (621H16001)

**Vadovas**

prof. Algimantas Kriščiukaitis

**Recenzentas**

doc. dr. Linas Svilainis

**Projekta atliko**

Valdas Valuckis

**KAUNAS, 2015**



## SANTRAUKA

Valdas Valuckis. Optinio nervo morfometrinė analizė akies ultragarsiniuose vaizduose. Magistro baigiamasis darbas / vadovas prof. Algimantas Kriščiukaitis. Kauno Technologijos Universitetas, Kaunas, 2015

Darbo tikslas – sukurti automatinį algoritmą greitam ir tiksliam optinio nervo zonos išskyrimui, jos fizinių savybių įvertinimui bei optinio nervo morfometriniam vertinimui. Šiame darbe trumpai aptariami populiariausi optinio nervo ir gretimų audinių atvaizdavimo metodai (ultragarsinis, KT, MR ir OKT). Tyrimams pasirinktas ultragarsinis metodas dėl trumpo, pigaus tyrimo, kuris nereikalauja stacionarios įrangos. Algoritmo kūrime naudoti realūs vaizdai, gauti iš Lietuvos Sveikatos Mokslų Universiteto ligoninės Akių klinikos skyriaus. Vaizdai gauti naudojant OTI-Scan 1000 ultragarsinį aparatą esant 10 MHz dažniui. Sukurtas algoritmas aptinka optinio nervo zoną, akies dugną ir išmatuoja optinio nervo skersmenį ir keletą kitų parametrų. Išmatuoti parametrai apibendrinami pasinaudojant diskriminantine analize. Diskriminantinei analizei panaudojami 26 parametrai (21 normalizuotos histogramos vertė, vidurkis, standartinis nuokrypis, asimetrija, ekscesas ir entropija) kiekvienam vaizdai įvertinti. Tirtuose vaizduose stebėtos 3 patologijos – drūza, edema ir kombinuotas drūzos/edemos atvejis. Diskriminantinė analizė atrinko svarbiausius požymius kanoninei funkcijai sudaryti ir minėtoms patologijoms klasifikuoti.

## SUMMARY

Valdas Valuckis. Morphometric analysis of optic nerve in eye ultrasound images. Master's work in Biomedical Engineering / supervisor prof. A. Kriščiukaitis. Kaunas University of Technology, Kaunas, 2015

This master's work explains algorithm for optic nerve detection and its structural analysis. Most common eye visualisation methods are shortly reviewed. These methods include ultrasonography, computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI) and optical coherence tomography (OCT). Ultrasound imaging was chosen for being cheap, short and portable method to visualise optic nerve and its surrounding tissues. 19 in total, real images expressing drusen, edema and drusen-edema cases were examined. Images came from Eye Clinics of Lithuania University of Health Sciences Hospital, acquired using OTI-Scan 1000 ultrasound scanner using 10 MHz frequency. Developed algorithm detected optic nerve zone, retinal surface finally measuring optic nerve diameter and few other parameters. All measurements are summarized in discriminant analysis. 26 total parameters (21 normalised histogram counts, mean, variance, skewness, kurtosis and entropy) for every image are analysed. 3 main pathologies were investigated – drusen, edema and combined drusen and edema cases. Discriminant analysis selected only certain histogram counts and variance as most significant for canonical function. In the end, territorial map was found, showing no overlapping zones, to determine which of 3 investigated cases was found in image.

# TURINYS

<b>ĮVADAS</b> .....	7
<b>1. TEORINĖ DALIS</b> .....	9
1.1 Ultragarsas [1] .....	9
1.2 Ultragarsinių vaizdų sudarymas [2] .....	12
1.3 Regos sistema [3] .....	13
1.4 Regos nervas [4].....	15
1.5 Optinio nervo ir jo aplinkos patologijos [5] .....	15
1.6 Drūza [6,7].....	16
1.7 Edema [8,9] .....	17
1.8 Optinio nervo skersmuo [10,11,12,13].....	17
1.9 Kodėl naudojami B režimo ultragarsiniai vaizdai ? [14].....	18
1.10 Kompiuterinės tomografijos panaudojimas akies struktūrų tyrimams [15,16,17] .....	19
1.11 Magnetinio rezonanso panaudojimas akies struktūrų tyrimams [18,19,20,21] .....	20
1.12 Optinės koherentinės tomografijos panaudojimas akies struktūrų tyrimams [22,23] .....	21
<b>2. TIRIAMOJI DALIS</b> .....	24
2.1 Tyrimo tikslas .....	24
2.1.1 Tyrimo zonos išskyrimas .....	25
2.1.2 Optinio nervo zonos išskyrimas .....	26
2.1.3 Akies dugno nustatymas .....	28
2.1.4 Optinio nervo pradžios taškai .....	29
2.1.5 Optinio nervo skersmens matavimas.....	30
<b>3. REZULTATAI</b> .....	32
3.1 Elevacija .....	32
3.2 Normalizuota histograma .....	33
3.3 Dispersija.....	34
3.4 Optinio nervo skersmens matavimo rezultatai.....	35
3.5 Rezultatų diskriminantinė analizė .....	35
<b>REZULTATŲ APTARIMAS IR IŠVADOS</b> .....	39
<b>NAUDOTOS LITERATŪROS SĄRAŠAS</b> .....	40
<b>SANTRUMPŲ SĄRAŠAS</b> .....	42
<b>PRIEDAI</b> .....	43

## ĮVADAS

Aky – vienas iš svarbiausių žmogaus jutiminių organų. Taip pat jos ir labai jautrios – egzistuoja begalė sutrikimų, darančių įtaką regai. Dėl regėjimo svarbos yra ypač svarbu įvairias akių ligas nustatyti kuo anksčiau. Stengiamasi, kad bet kokie akių tyrimai būtų kuo tikslesni ir galėtų diagnozuoti kuo daugiau esamų negalavimų.

Vienas iš paprastų, greitai atliekamų ir pakankamai informatyvių akių tyrimų – akių skenavimas ultragarsu. Paprastai naudojamas B režimas dėl jo privalumo – bendro struktūrinio vaizdo. Nors B skenavimas yra neinvazinis, greitas būdas diagnozuoti dalį akių negalavimų, vis dar dažniausiai nėra automatizuotas – gydytojai oftalmologai daugumą ultragarsinių vaizdų tyrinėja be programinės įrangos. Toks būdas trunka sąlyginai ilgai ir kartu įveda „žmogiškąją paklaidą“.

Dauguma gydymo įstaigų turi modernią programinę įrangą, kurią pasitelkus galima greičiau bei tiksliau diagnozuoti įvairias patologijas. Vienas iš galimų programų pavyzdžių – plačiai medicininiuose tyrimuose naudojama MATLAB programa. Joje esantys programiniai rinkiniai (angl. toolbox) leidžia įvairiai manipuluoti įvairias vaizdais, išskirti dominančias sritis, atlikti jų struktūrinės analizės, atlikti tam tikrų dalių matavimus ir pan. MATLAB ar kitos programos leidžia palengvinti ir pagreitinti įvairių sutrikimų diagnostiką. Be to, pasinaudojant programine įranga tyrimai yra praplečiami – apdorojant vieną vaizdą gali patikrinti daug dalykų, kas daro tyrimus išsamesnius ir didina tikimybę pastebėti patologijas ankstyvose stadijose.

Optinis nervas – viena svarbiausių akies dalių, kuria regos informacija perduodama į smegenis. Akivaizdu, kad optinio nervo sutrikimai yra labai svarbūs ir jiems esant būtinas jų nuolatinis stebėjimas ir gydymas. Reikia pabrėžti, kad dauguma akies nervo sutrikimų tiesiogiai veikia regą, kas sunkiais atvejais gali lemti ir visišką regos praradimą.

Šiame darbe susidurta su 2 optinio nervo patologijomis – drūza ir edema, taip pat ir bendru jų atveju. Šios patologijos yra ganėtinai dažnos (drūzos pasitaiko apytiksliai 1% tarp visos populiacijos). Jas svarbu nuolat stebėti, nes jos gali indikuoti į rimtus sutrikimus, pavyzdžiui, edema gali pereiti į neuropatiją ar optinio nervo okliuziją.

Darbo metu naudoti realūs ultragarsiniai vaizdai, gauti OTI-scan 1000 ultragarsiniu skaneriu, naudojant 10 MHz skenavimo dažnį. Vaizdai gauti iš akių klinikos, priklausančios Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninei. Vaizdai anoniminiai, tik su žymomis, kurios akies vaizdas (kairės ar dešinės) ir koks buvo skenavimo dažnis. Vaizdai patikrinti specialistų oftalmologų – jie nustatė, kokia patologija užfiksuota.

Darbo tikslas – sukurti automatinį algoritmą greitam ir tiksliam optinio nervo zonos išskyrimui, jos fizinių savybių įvertinimui bei optinio nervo morfometriniam vertinimui.

Tiksliui pasiekti buvo suformuluoti uždaviniai:

1. Išanalizuoti optinio nervo ir jo aplinkos atvaizdų kilmę ir savybes ultragarso b-scan vaizduose;
2. Išanalizuoti optinio nervo ir jo aplinkos patologijų diagnozavimo galimybes naudojant akies ultragarso b-scan vaizdus;
3. Sukurti akies ultragarsinio b-scan vaizdo struktūrinės analizės ir diagnostinių požymių vertinimo algoritmą;
4. Diskriminantine analize surasti informatyvius požymius optinio nervo patologijoms (drūzoms, edemoms ir kombinuotiems drūzų/edemų atvejams) atskirti.

Darbas apima trumpą teorinę regos sistemos analizę, bendrus ultragarso principus, supažindinimą su optiniu nervu, jo dažniausiomis patologijomis ir praktinę dalį. Vaizdams apdoroti naudojama MATLAB programa, R2013a versija. Tiriamoje dalyje aprašomas MATLAB programa sukurtas vaizdo apdorojimo algoritmas, paaiškinami jo struktūriniai veikimo principai. Rezultatų skiltyje pateikiami gauti rezultatai, jų statistinis įvertinimas. Svarbu pabrėžti, kad visi rezultatai gauti naudojant realius oftalmologų atrinktus vaizdus.



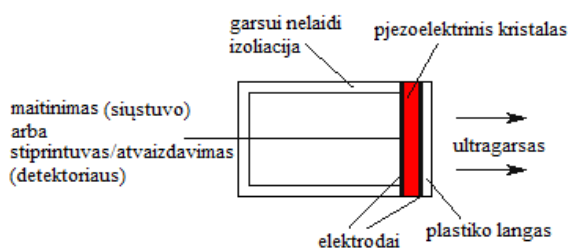
# 1. TEORINĖ DALIS

## 1.1 Ultragarsas [1]

Ultragarsas remiasi atspindėjusia garso banga. Sklisdama oru garso banga, pasiekusi kietą paviršių, nuo jo atspindi. Ši banga vadinama atspindžio (echo) banga. Tokie pat principai galioja ir garso bangai, sklindančiai skysčiu ir atsimušančiai į objektą. Žinant garso greitį ore arba skystyje, galima apskaičiuoti atstumą iki objekto. Atstumas iki objekto lygus garso impulso sklidimo greičio ir laiko sandaugos pusei.

Mediciniinių vaizdų gavimo procedūrose naudojamosi 1-20 MHz diapazonu. Šie dažniai gaunami panaudojant pjezoelektrines medžiagas. Aplink tokią medžiagą sukūrus elektrinį lauką, ji susitraukia arba išsiplečia. Pakeitus elektrinio lauko kryptį, poveikis medžiagai taip pat pasikeičia priklausomai nuo krypties. Dažnai keičiant elektrinio lauko kryptis priešingomis galima gauti kristalo vibraciją. Vibracija gaunama stipriausia, kai elektrinis laukas stimuliuoja natūralų kristalo dažnį – gaunamas rezonansas. Vibracija tada perduodama per gretimą medžiagą ar orą kaip išilginė banga, t.y. gaunama garso banga. Pjezoelektrinėmis savybėmis pasižymi nemažai natūralių medžiagų, pavyzdžiui, kvarcas, bet dažniausiai naudojama sintetinė keramika, švino cirkonio titanatas. Kristalas pjaunamas taip, kad plotis būtų lygus pusei ultragarsinės bangos ilgio, norint užtikrinti, kad didžioji dalis energijos būtų išspinduliuojama prie pagrindinio dažnio.

Galimas ir atvirkščias pjezoelektrinis efektas: jei kristalas suspaudžiamas arba išplečiamas, jame susidaro elektrinis laukas. Taigi, jei kristalą pasiekia ultragarso banga, jis pradeda vibruoti ir taip sukuria kintamą elektrinį lauką. Gaunamas elektrinis signalas gali būti sustiprinamas ir apdorojamas įvairiais būdais, priklausomai nuo skenavimo tipo. Taigi, antras kristalas gali būti naudojamas aptikti ultragarso bangoms, atspindėjusioms nuo objekto. Paprastai ir siunčiantis, ir priimantis kristalai naudojami kartu tame pačiame įrenginyje, t.y. ultragarsiniame keitiklyje.



1 pav. Ultragarsinio keitiklio schema.

Atsispindėjusios arba perėjusios per medžiagą ultragarsinės bangos dalis priklauso nuo abiejų medžiagų (medžiagos, kuria banga sklido, ir objekto medžiagos). Tai apibūdinama akustiniu medžiagos impedansu, kuris priklauso nuo medžiagos tankio ir garso greičio medžiagoje. Jei labai skiriasi paviršių akustinės varžos, tai beveik visas ultragarso atsispindi ir tik nedidelė jo dalis patenka į medžiagą. Pavyzdžiu galima laikyti oro ir vandens sankirtą, kurių akustinius impedansus matome žemiau.

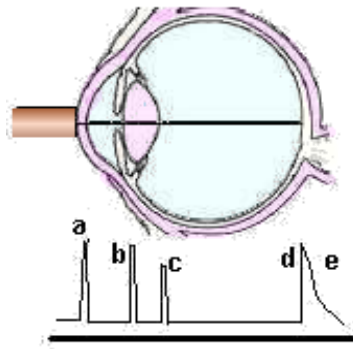
1 lentelė. Akustiniai impedansai.

<b>Terpė</b>	<b>Impedansas (standartiniais vienetais)</b>
Oras	0.000429
Vanduo	1.50
Kraujas	1.59
Riebalai	1.38
Raumuo	1.70
Kaulas	6.50

Impedansų skirtumui sumažinti naudojamos tarpinės medžiagos, padedančios dalinai sulyginti šiuos impedansus. Tarpinės medžiagos paprastai visada naudojamos ultragarsinių tyrimų metu, siekiant sumažinti odos ir zondo akustiniam impedansui.

Siekiant gauti pakankamai geros rezoliucijos vaizdą, reikia atsižvelgti į tai, kad nuo sluoksnio tarp medžiagų turėtų atsispindėti tik 1% ultragarso, o likęs įsiskverbti į medžiagą ir atsispindėti nuo darinių joje.

A skenavimo režimas. Kiekvienas sluoksnis sukuria atspindį, kuris fiksuojamas kaip amplitudės pikas. X ašis atitinka laiką, o Y ašis – amplitudę. Pagal tai ir vadinamas Amplitudės režimas (paprastai tiesiog „A režimas“). Užfiksuojami amplitudės šuoliai gaunami dėl akustinio impedanso skirtumo tarp sluoksnių. Taip pat šie pikai priklauso ir nuo to, kiek ultragarso sugerama kertant sluoksnius, kas sukelia problemų interpretuojant gautus duomenis.



2 pav. A režimu gauti pikai: a – ragenos pikas, b – priekinis lęšiuko pikas, c – galinis lęšiuko pikas, d – tinklainės pikas, e – regos nervo disko pikas.

B skenavimo režimas. Šiame režime vietoj amplitudės matavimo matuojamas kiekvieno taško šviesumas (angl. „Brighness“). Spindulys, kertantis sluoksnis, pateikia informaciją apie atspindžio dydį, kas yra įvertinama nustatant taško šviesumą. Didžiausias atspindys gaunamas šviesiausioje vietoje.

Ultragarso pranašumai ir trūkumai, lyginant su kitomis technologijomis:

Privalumai:

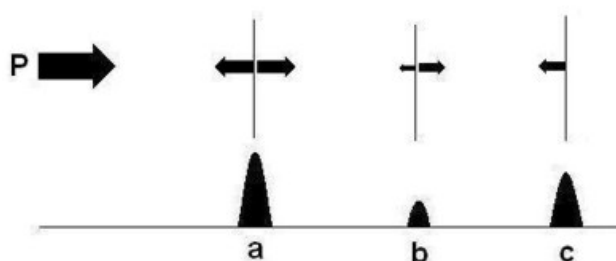
- Neinvazinis;
- Nebrangus, greitas ir patogus;
- Nėra nustatyta žalingo tyrimo poveikio;
- Puikiai tinka minkštiesiems audiniams atvaizduoti.

Trūkumai:

- Ribota atvaizdų rezoliucija;
- Labai stiprus atspindys, pereinant iš dujinės medžiagos į audinius ir atvirkščiai;
- Nepereina per kaulinius audinius.

## 1.2 Ultragarsinių vaizdų sudarymas [2]

Ultragarsinis vaizdas sudaromas remiantis atsispindėjusiais impulsais, kurie dalinai atsispindi nuo ribos tarp dviejų audinių struktūrų ir dalinai pereina šią ribą. Atspindys priklauso nuo akustinio impedanso skirtumo tarp šių audinių. Išsiunčiamas vienas ultragarsinis impulsas, tačiau impulsų priėmimas vyksta nuolat. Laikant, kad garso greitis audiniuose praktiškai pastovus, laikas tarp išsiųsto impulso ir atspindžio priklauso nuo atstumo, t.y. nuo atspindinčio sluoksnio gylio. Atspindžių impulsai priimami daug kartų, priklausomai nuo gylių, kuriuose jie buvo atspindėti. Reikia atkreipti dėmesį, kad skirtingos struktūros atspindi skirtingą energijos kiekį ir skirtinguose gyliuose atspindėti impulsai bus skirtingos amplitudės. Laikas tarp siunčiamų impulsų priklauso nuo maksimalaus gylio, kurį siekiama atvaizduoti.



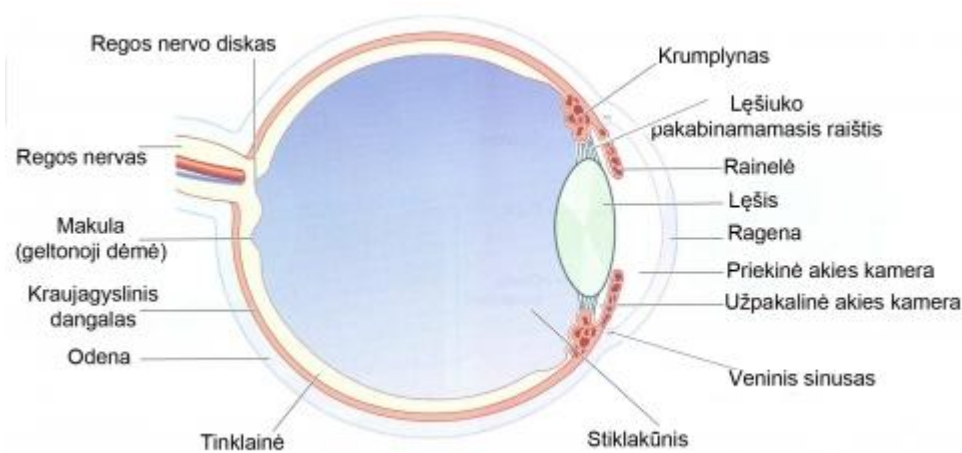
3 pav. Praeinančio ir atsispindėjusio spindulio principas ultragarsiniam vaizdai gauti.

Atspindinti struktūra ne tik atspindi ultragarsą atgal į zondą, bet ir jį išbarsto, dėl to struktūros gali būti vadinamos išskaidytuvais. Svarbu atkreipti dėmesį, kad atspindėtas energijos kiekis priklauso ne tik nuo atspindžio koeficiento (garso greičio struktūroje ir jos tankio sandaugos), bet ir nuo atspindėtos bangos krypties.

Dalis ultragarso energijos yra sugerama audiniuose ir paverčiama šiluma. Daroma išvada, kad galimas biologinis poveikis, jei sugeriamas didelis kiekis energijos. Absorbicija svarbi, nes audinių kaitinimas yra pagrindinis ultragarsinės aparatūros saugos limitas. Taip pat absorbicija riboja, į koki gylį ultragarsas gali įsiskverbti. Absorbicija priklauso nuo tokių faktorių, kaip audinio tankis (kuo didesnis tankis, tuo didesnė ir absorbicija) ir ultragarsinio spindulio dažnis (kuo aukštesnis dažnis, tuo didesnė absorbicija). Paprastai laikoma, kad spindulio slopinimas audiniuose yra  $1 \text{ dB/cm} \cdot \text{MHZ}$ .

### 1.3 Regos sistema [3]

**Akis.** Akį sudaro akies obuolys su akies priediniais organais, taip pat regimasis nervas, kuriuo nerviniai impulsai sklinda į nervinius regos centrus galvos smegenyse. Akies obuolį sudaro dangalai (ragena, odena, rainelė, krumplynas, gyslainė ir tinklainė) bei branduolys (tai skaidrios, šviesos spindulius laužiančios terpės – stiklakūnis, lęšis ir priekinė bei užpakalinė akies kameros). Akies priediniai organai – tai akį saugantys ir judinantys organai: vokai, ašarų aparatas, antakiai, junginė, akies obuolį judinantys raumenys. [3]



4 pav. Akies sandara (paveikslėlis: Ross and Wilson Anatomy and Physiology in Health and Illness, 2001).

**Akies obuolys.** Jis sudarytas iš kapsulės ir branduolio. Kapsulė sudaryta iš trijų skirtingos struktūros sluoksnių: išorinio (skaidulinio), vidurinio (kraujagyslinio) ir vidinio sluoksnio (tinklainės).

Išorinis kapsulės sluoksnis – tai plonas, tvirtas skaidulinio jungiamojo audinio dangalas, suteikiantis akies obuoliui formą. Jo priekinė dalis yra ragena, kuri yra permatoma ir panaši į išgaubtą laikrodžio stikliuką. Likusią išorinio dangalo dalį sudaro odena, kuri yra nepermatoma, panaši į virto kiaušinio baltymą. [3]

Vidurinis kapsulės sluoksnis turi daug kraujagyslių ir pigmentinių ląstelių. Jis sudarytas iš trijų sudėtimi ir funkcijomis skirtingų dalių: rainelės (priekinė kraujagyslinio dangalo dalis. Ji matoma pro ragena, yra disko formos, o jos centre yra apvali anga – vyzdys), krumplyno ir gyslainės (gyslainė sudaro akies arterijos, venos ir nervai). [3]

**Tinklainė.** Tinklainėje skiriamos priekinė, šviesai nejautri - akloji tinklainės dalis ir užpakalinė, reginė tinklainės dalis. Tinklainę sudaro du skirtingi sluoksniai: išorinis pigmentinis ir vidinis smegeninis. Pastarajame išsidėsto šviesai jautrios ląstelės – lazdelės ir kolbelės. Jose šviesos bangų dirgikliai virsta nerviniais impulsais. Lazdelių yra daugiau, jos išsisklaidžiusios po visą

tinklainę. Kolbelių yra mažiau, jos susitelkusios centrinėje tinklainės dalyje. Kolbelės suvokia tik ryškią šviesą, padeda skirti smulkias detales ir spalvas. Lazdelės pritaikytos matyti tamsoje, jomis spalvų neskiriame, bet įžiūrime objekto formą. Tamsoje spalvų nematome. Dėl kolbelių veiklos sutrikimo žmogus gali neskirti vienos ar kelių spalvų (dažniausiai raudonos arba žalios). Tai paveldima liga – daltonizmas. Arti tinklainės geometrinio centro yra iškilimas – regos nervo diskas. Pro jį į tinklainę įeina ir išeina kraujagyslės bei nervai. Šioje vietoje nėra šviesai jautrių receptorių, todėl ši sritis vadinama akląja dėme. Netoli jos yra jautriausia tinklainės vieta – geltonoji dėmė. Ji sudaryta tik iš kolbelių, čia didžiausia tinklainės skiriamoji geba, daiktai matomi ryškiausiai. Akies žvilgsnis nukreipiamas taip, kad stebimo objekto atvaizdas atsidurtų geltonojoje dėmėje. Nuo objekto einantys spinduliai lūžta akies audiniuose ir geltonojoje dėmėje susidaro apverstas objekto atvaizdas. Abiejų akių tinklainėje susidarę atvaizdai šiek tiek skiriasi, kadangi kiekviena akimi objektą matome šiek tiek kitu kampu. [3]

**Lęšis.** Abipusiškai išgaubtos lizės formos skaidrus, standus kūnas, laužiantis šviesos spindulius. [3]

**Stiklakūnis.** Skaidri drebučių konsistencijos masė, kuri užpildo akies obuolio ertmę tarp tinklainės ir lęšio užpakalinio paviršiaus. Pagrindinė stiklakūnio funkcija - atraminė. Be to, jis priklauso akies optiniam aparatui, nes praleidžia bei šiek tiek laužia spindulius. [3]

**Akies kameros.** Išskiriamos priekinė ir užpakalinė akies kameros. Priekinė kamera yra tarp užpakalinio ragenos ir priekinio rainelės paviršiaus. Užpakalinę kamerą priekyje riboja užpakalinis rainelės paviršius, o užpakalyje – priekinis lęšio paviršius, krumplynas ir jo raištis. Kameras užpildo vandeningas skystis. Jį nuolat gamina rainelės ir krumplyno ataugų kapiliarai. Abi kameros susisiečia per vyzdį. Skystis iš užpakalinės kameros per vyzdį patenka į priekinę, o iš šios per veninį odenos antį – į venas. Taip akies kameroje yra palaikomas vienodas spaudimas, svarbus normaliam regėjimui. [3]

**Vokai.** Skiriami du: viršutinis ir apatinis. Vokus sudaro plona švelni oda. Po ja yra puriojo poodinio ląstelyno sluoksnis, o dar giliau – raumeninės skaidulos. Kiekviename voke, po raumenimis, yra labai standaus audinio plokštelė – voko kremzlė. Vokų vidinį paviršių dengia junginė. Vokų vidiniuose kampuose yra ašarų taškai. [3]

**Junginė.** Tai plona skaidri jungiamojo audinio plėvelė. Nuo vokų ji pereina ant akies obuolio. Ji apdengia visą matomą akies obuolio dalį, išskyrus rageną. [3]

**Ašarų liauka.** Ji yra viršutiniame lateraliniam akiduobės kampe. Ji gamina skaidrų, bespalvį, sūraus skonio skystį – ašaras. Jos kaupiasi tarpelyje tarp vokų ir akies obuolio. Ašaros plauna akies obuolį, drėkina rageną. [3]

## 1.4 Regos nervas [4]

Optinis, arba regos, arba II kranijinis, nervas perduoda jutiminius nervinius impulsus iš daugiau kaip milijono tinklainės ganglioninių ląstelių į regos centrus galvos smegenyse. Didžioji optinio nervo skaidulų dalis perneša informaciją apie centrinį vaizdą.

Optinis nervas prasideda optiniame diske, akies galinėje dalyje esančiu 1,5 mm dariniu. Optinis diskas sujungia ganglioninių ląstelių išėjimo skaidulas (aksonus) jiems išeinant iš akies. Pasibaigus akiai, už optinio disko prasideda regos nervas. Jis tęsiasi likusia akiduobės dalimi akytu optiniu kanalu ir patenka į galvos smegenis iš apačios. Šioje vietoje optiniai nervai iš abiejų akių sudaro X formos struktūrą, vadinamą optine kryžme. Čia apytiksliai pusė vienos akies nervinių skaidulų susimaišo su apytiksliai puse kitos akies nervinių skaidulų kitoje smegenų pusėje. Toks aksonų išsidėstymas būtinas abiejų akių vaizdui. Galu į optinę kryžmę nervų skaidulos keliauja optiniai traktais į skirtingas smegenų dalis. Čia skaidulos formuoja optinę spinduliuotę, sklindančią link smegenų žievės pakaušio dalyje. Dalis nervinių skaidulų palieka optinį traktą ir keliauja į smegenų kamieną. Ši informacija smegenų kamieno tiesiogiai nulemia vyzdžių dydį.

## 1.5 Optinio nervo ir jo aplinkos patologijos [5]

Optinio nervo sutrikimai:

- Įgimtos anomalijos;
- Glaukoma;
- Optinis neuritas;
- Išemija;
- Padidėjęs intrakranijinis spaudimas;
- Suspaudimas;
- Mitybos ar toksinių medžiagų sukelta neuropatija;
- Trauma;
- Paveldima optinė neuropatija;
- Užkrėtimas (augliai ir kiti dariniai);
- Optinė atrofija dėl tinklainės sutrikimo.

## 1.6 Drūza [6,7]

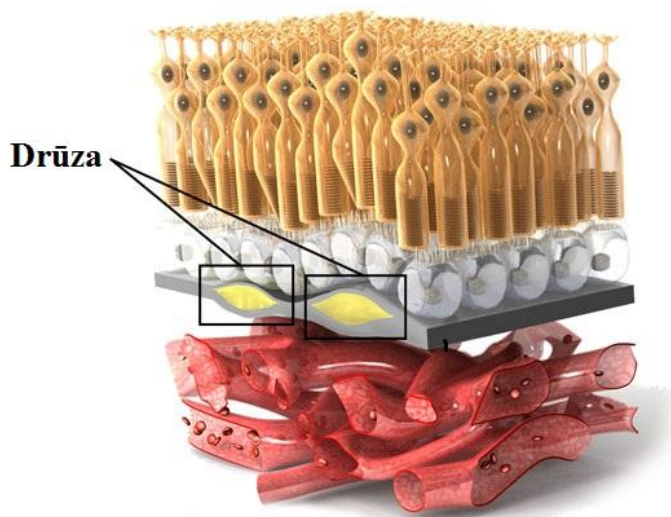
Optinio nervo drūza – tai nenormali, įprastai apvalios formos, baltymų ir kalcio druskų sankaupa optinio nervo pradžioje. Paprastai gali pasitaikyti abiejose akyse. Optinio nervo drūzos gali būti tiek paveldimos, tiek atsirasti be žinomų artimųjų su šia patologija. Šeimoje drūzos yra paveldimos kaip dominantinis genas, t.y. tikėtina, kad žmogus su šia patologija ją perduos savo palikuonims.

Drūzos dažnas reiškinys – pasitaiko apie 1% populiacijos. Optinio nervo drūzos paprastai nėra pastebimos tik gimus ir retai pastebimos naujagimiams. Drūzos paprastai išsivysto lėtai, kaupiantis medžiagoms optinio nervo pradžioje ir joms kalcifikuojantis. Vidutinis amžius, kai optinio nervo drūzos pastebimos pirmą kartą, yra apytiksliai 12 metų. Dažniausiai drūzos pastebimos kaip nenormali optinio nervo dalis su keletu kraujagyslių, prasidedančių optiniame diske.

Dauguma pacientų su diagnozuotomis optinių nervų drūzomis išlaiko normalų centrinį vaizdą. Kaip bebūtų, laikui bėgant apie 70% pacientų bent dalinai praranda periferinį matymą. Periferinio matymo praradimas stipriai varijuoja – nuo nepastebimo iki žymaus periferinio vaizdo suspaudimo.

Svarbu paminėti, kad pacientai su optinio nervo drūzomis yra labiau linkę į nearerinę priekinę optinę neuropatiją (optinio nervo nykimą), akies dugno venų šakų okliuziją ir pagrindinės akies dugno venos okliuziją.

Optinio nervo drūzos gydymo neturi. Labai retais atvejais (esant gyslainės neovaskuliarizacijai – naujų kraujagyslių formavimuisi) gali būti taikomos lazerinės korekcijos.



5 pav. Drūza.



## 1.7 Edema [8,9]

Edema – nenormalus skysčio kaupimasis organizmo audiniuose. Dažniausiai pastebima kaip patinimas. Tai natūralus organizmo atsakas į sužeidimą ar uždegimą. Edema atsiranda, kai kapiliarai ima praleisti skysčius į gretimus audinius. Skysčiai kaupiasi ir sukelia audinių patinimą. Edemos simptomai paprastai pasireiškia per laiką didėjant edemai, tačiau priklausomai nuo edemos vietos ir tipo jų gali visai nebūti. Paprastai edemos gydymas būna netiesioginis – gydoma tai, kas privertė kauptis skysčius.

Optinio nervo edema – optinio nervo patinimas. Optinio nervo edema gali atsirasti dėl skirtingų dalykų, tokių kaip padidėjusio intrakranijinio spaudimo, vietinių optinio nervo pažeidimų, optinio neurito, išeminės priekinės optinio nervo dalies neuropatijos, pagreitėjusios hipertenzijos, pagrindinės akies dugno venos okliuzijos ir kt.

Optinio nervo patinimas aiškia skiriasi nuo atrofijos, t.y. nervinių ląstelių mirties. Atrofija būna pirminė (be pasireiškusių edemos) ir antrinė (pasireiškus optinio nervo patinimui).

## 1.8 Optinio nervo skersmuo [10,11,12,13]

Žemiau pateikiami optinio nervo matavimų duomenys, remiantis atitinkamų šaltinių duomenimis. Pateikiami kontrolinės (sveikų pacientų, be užfiksuotų patologijų atvejų) ir patologijos grupių rezultatai. Svarbu paminėti, kad optinio nervo matavimai dažnai siejami su intrakranijinio spaudimo matavimais, nes dėl akies padėties kaukolėje pastebima tiesioginė priklausomybė tarp intrakranijinio spaudimo ir optinio nervo skersmens.

2 lentelė. Optinio nervo skersmuo su ir be patologijos.[10]

Grupė	Tyrimų skaičius	Skersmuo, mm	SD, mm
Patologija	78	5,63	0,69
Kontrolinė	78	3,34	0,61

3 lentelė. Optinio nervo skersmuo priklausomai nuo vaikų amžiaus su ir be nervo patologijos.[11]

Grupė	Amžius metais	Tyrimų skaičius	Skersmuo, mm	SD, mm
Patologija	<4	34	5,55	0,68
	>4	44	5,68	0,71
Kontrolinė	<4	32	3,00	0,67
	>4	46	3,60	0,42

4 lentelė. Dešinės ir kairės akių optinių nervų skersmenys, priklausomai nuo IKS (IKS – intrakranijinis spaudimas).[11]

Akis	Smegenų pažeidimas (31: normalus IKS – 16, padidėjęs IKS - 15)			Kontrolinė grupė (31)	
	Normalus IKS	Padidėjęs IKS	Paklaida, mm	Kontrolinis IKS	Paklaida, mm
	Skersmuo, mm				
Dešinė	5,1±0,7	6,2±0,4	<0,0001	4,9±0,3	<0,0001
Kairė	5,0±0,7	6,3±0,6	<0,0001	4,8±0,5	<0,0001

Dešinės ir kairės akių matavimų duomenys neatitinka normalinio skirstinio. Vidutinis skirtumas tarp abiejų akių buvo tik 0,01 mm. Koreliacijos koeficientas tarp abiejų akių optinio nervo matavimų yra labai didelis, lygus 95%. [12]

Atlikus tyrimus su 281 skirtingu pacientu, gautas skirtumas tarp kairės ir dešinės akių optinio nervo skersmens yra labai nežymus, siekiantis 0,076mm.[13]

Taigi, galima teigti, kad nesvarbu, kairė ar dešinė akis matuojama. Suprantama, kad akys nėra idealiai vienodos ir esami skirtumai atsiranda būtent dėl šio natūralaus nesutapimo. Parametrų matavimai atliekami abiem akims ir sveikų akių atveju turėtų tilpti į numatomus parametrų intervalus.

### 1.9 Kodėl naudojami B režimo ultragarsiniai vaizdai ? [14]

Panaudojus A skenavimą pastebėta tiesinė priklausomybė tarp optinio nervo ir intrakranijinio spaudimo. Vykiant skenavimą galima pastebėti spaudimo pasikeitimus. Panaudojant B skenavimą galima pasirinkti atstumą nuo obuolio, kuriame bus atliekami matavimai. Tai tarsi standartizavo atstumą, ties kuriuo atliekami matavimai, kas nebuvo galima A režimo atveju. Taip pat pastebėta, kad B režimo atveju užtenka žemesnės horizontalinės rezoliucijos.

3 mm nuo akies obuolio pasirinkti, nes ultragarso kontrastas tokiu atstumu geriausias, rezultatai gali būti atkuriami ir anatomiškai nervas yra elastingiausias.

## **1.10 Kompiuterinės tomografijos panaudojimas akies struktūrų tyrimams**

**[15,16,17]**

Akies struktūros taip pat gali būti stebimos ir kompiuterinės tomografijos (KT) vaizduose. Pasinaudojant aukštos rezoliucijos KT vaizduose galima įvertinti optinio nervo pažeidimus. Paprastai KT vaizdai naudojami optinių gliomų ir meningiomų stebėjimui.

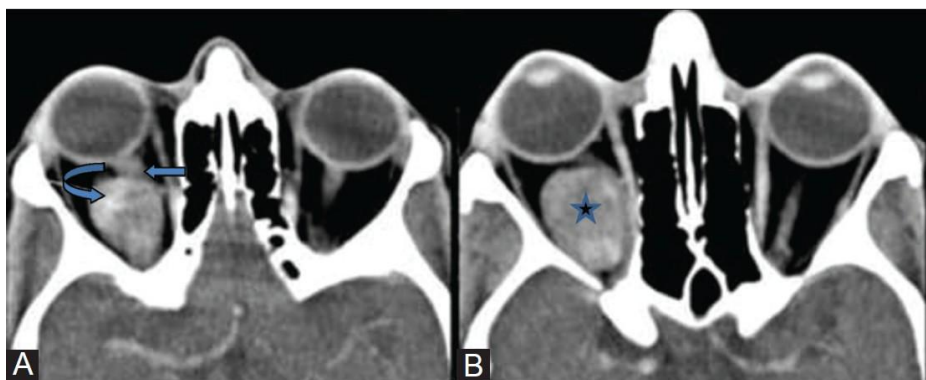
Kompiuterinės tomografijos skaneris siunčia sufokusuotą spindulį nustatyta kūno plokštuma. Skaneris valdomas sukant rentgeno vamzdį aplink paciento kūną. Spindulys siunčiamas nustatyta plokštuma ir stebima per kūną praėjusi spindulio dalis. Spinduliui pereinant skirtingus audinius jie sugeria skirtingą dalį spindulio energijos. Detektoriai užfiksuoja nusilpusį spindulį ir apskaičiuoja, kiek energijos jis prarado. Pasinaudojant šia informacija kompiuteris sudaro kompiuterinės tomografijos vaizdą. Vamzdžiui ir detektoriams judant aplink kūną gaunama daug vaizdų, kuriuos atitinkamai sujungus gaunamas tikrasis skanuojamos plokštumos vaizdas.

Kompiuterinės tomografijos vaizde pagal atspalvius galima daryti išvadas apie struktūras. Kaulai šiuose vaizduose matomi balti, dujos ir dauguma skysčių – juodi, o įvairūs audiniai, priklausomai nuo jų struktūros, matomi pilkų atspalvių.

Vienas didžiausių šio metodo trūkumų – paciento gaunama spinduliuotė. Žinoma, stengiamasi kuo labiau sumažinti radiacijos dozes. Tačiau reikia nepamiršti, kad vaizdų kokybė tiesiogiai priklauso ir nuo spinduliuotės dydžio. Svarbu paminėti, kad būtent dėl šios priežasties gaunamos jonizuojančios spinduliuotės, šis metodas negali būti taikomas tam tikroms pacientų grupėms, pavyzdžiui, nėščiosioms.

Kompiuterinė tomografija paprastai taikoma augliams stebėti ir įvertinti. Augliai gali būti palaikyti patinimais, tačiau kompiuterinės tomografijos vaizduose dėl skirtingos struktūros jie aiškiai matomi. Pastebėta, kad sunku pastebėti gliomas jų ankstyvojoje stadijoje, nes jų tankis mažai skiriasi nuo optinio nervo.

Apibendrinant, kompiuterinė tomografija galėtų būti taikoma akies struktūroms stebėti, tačiau yra keletas trūkumų. KT tyrimas trunka ilgiau nei tyrimas ultragarsu, taip pat tai yra brangesnė ir specialios stacionarios įrangos reikalaujanti alternatyva. Kompiuterinę tomografiją rekomenduotina naudoti vietoj ultragarso susidūrus su įvairių rūšių augliais – šioje situacijoje KT puikiai tinka, nes padeda išskirti skirtingas auglių rūšis.



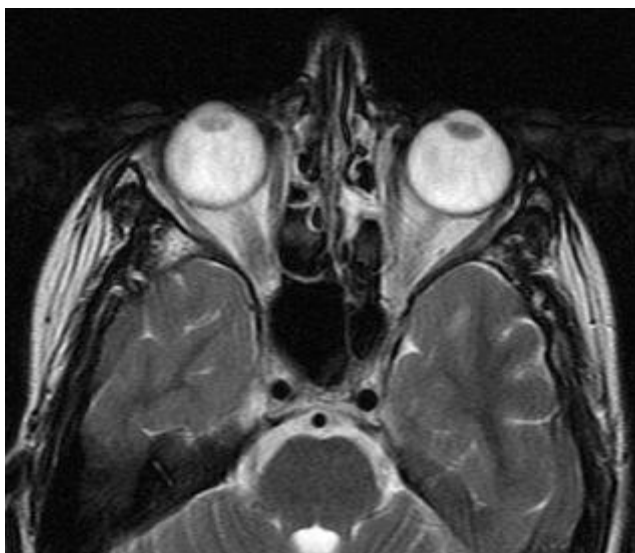
6 pav. Kompiuterinės tomografijos vaizdas su matoma akies trauma.

### 1.11 Magnetinio rezonanso panaudojimas akies struktūrų tyrimams [18,19,20,21]

Magnetinis rezonansas (MR) jau ilgą laiką naudojamas klinikiniam ir neurologiniam audinių struktūrų tyrimams bei fiziologiniams ir funkciniam procesams stebėti. MR taip pat plačiai taikomas ir oftalmologijoje. Taikymo sritys įvairios – nuo klinikinių struktūrinių akies pažeidimų tyrimų neurooftalmologijoje iki eksperimentinių funkcinių akies sluoksnių tyrimų ar fiziologinio deguonies atsako bandymų.

Magnetinio rezonanso didžiausias privalumas – labai geros kokybės struktūriniai audinių vaizdai, leidžiantys tiksliai įvertinti audinių būklę, išskirti patologinius objektus. Labai populiarus MR taikymas oftalmologijoje – optinio nervo ir jo pažeidimų stebėjimas. Magnetinio rezonanso optinio nervo vaizduose puikiai matyti ne tik optinis nervas, bet ir galimos jo deformacijos, augliai ar kitokios patologijų nulemtos struktūros (pavyzdžiui, edema). MR taip pat plačiai naudojamas glaukomos sukeltiems pažeidimams stebėti. Pastebėta, kad esant glaukomi optinio nervo skersmuo gaunamas žymiai mažesnis bei optinė kryžmė būna žemiau nei sveikų pacientų atvejais. Taip pat svarbu paminėti, kad magnetinis rezonansas itin svarbus įvairių auglių diagnozavimui. Dėl įvairių auglių rūšių specifinių požymių, kuriuos galima nesunkiai identifikuoti magnetinio rezonanso vaizduose, šis metodas dažnai taikomas jų stebėjimui, išskirimui.

Magnetinis rezonansas, nors ir leidžia gerai išskirti struktūras, yra labai brangus palyginus su anksčiau minėtais būdais, taip pat reikalauja stacionarios, labai brangios įrangos bei sąlyginai ilgai trunkančio paties tyrimo. Taip pat, kaip ir kompiuterinė tomografija, MR rekomenduojamas auglių išskirimui bei jų identifikavimui.



7 pav. Magnetinio rezonanso tyrimu gaunamo vaizdo pavyzdys.

## **1.12 Optinės koherentinės tomografijos panaudojimas akies struktūrų tyrimams [22,23]**

Optinė koherentinė tomografija (OKT) buvo sukurta skaidrių biologinių audinių stebėjimui. Jos privalumas yra tas, kad ši technologija leidžia atvaizduoti tuos audinius natūralioje aplinkoje mikronine skyra netaikant bandinio išpjovimo ar kitokios intervencijos į organizmą. OKT panaši į ultragarsinius tyrimus, tik čia panaudojama mažo koherentiškumo šviesa, o ne garsas. Šia tomografija, matuojant tiriamojo audinio išsklaidytos atgaline kryptimi šviesos intensyvumą, gaunami bandinio skersinio pjūvio nespalvoti ar dirbtinėmis spalvomis perteikti dvimačiai vaizdai.

Be didelės gaunamų vaizdų skyros, kiti vartotojo požiūriu svarbūs privalumai, užtikrinantys OKT metodo sėkmę, yra jo paprastumas ir santykinai nedidelis investicijų poreikio bei duomenų kokybės santykis. Sparčiai besivystančios fotoninės technologijos suteikia OKT didelius technologinius privalumus ją visapusiškai tobulinant, tad įrangos kaina mažėja, o jos įvairovė ir teikiamos galimybės plečiasi.

OKT plačiausiai taikoma biomedicinos srityje, kur naudojamų metodikų patikimumą ir efektyvumą veikia daugybė įvairių veiksnių. Gyvi audiniai pasižymi didele šviesos sklaida ir sugertimi, labai ribojančia optinių vaizdinimo priemonių panaudojimą. Kitos vaizdinimo metodikos, pavyzdžiui, ultragarsinės, medicinos poreikiams taikomos jau ilgai, tačiau kiekvienai jų būdingi savi apribojimai ir trūkumai. Pavyzdžiui, nors ultragarsinio vaizdinimo metodika gali suteikti informacijos apie audinius, esančius kur kas giliau nei pasiekiami OKT, gaunamų vaizdų skyros nepakanka visai naudingai informacijai gauti.

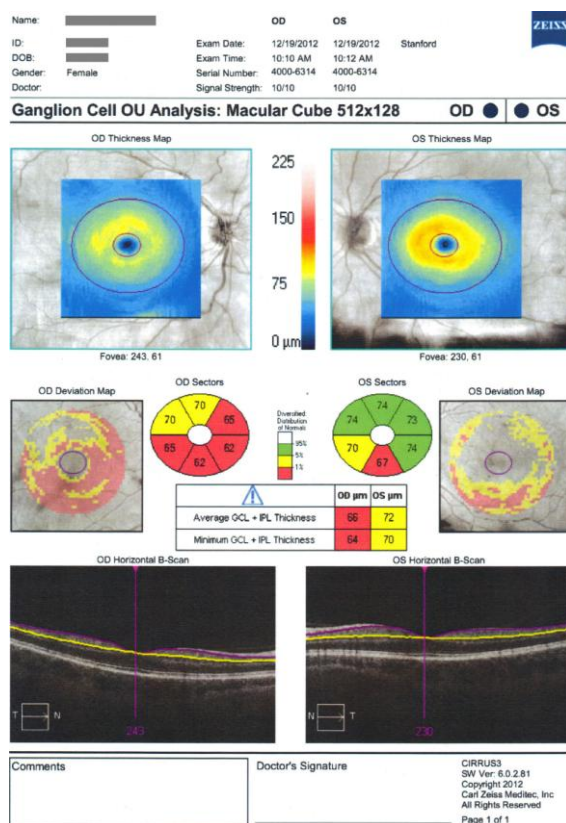
Galima aptikti ankstyvas daugelio tinklainės ligų stadijas, kai dar galimas konservatyvus gydymas, tačiau akies struktūros tyrimus reikia atlikti mikrometrine skyra, kurios negali užtikrinti joks kitas metodas, išskyrus OKT. Kartais pasitaiko ir klinikinių atvejų, kai dėl neraiškaus ligos pobūdžio, net ir atliekant kryptingus diagnostinius tyrimus, yra didelė tikimybė jos neaptikti, o tai didina klaidingą neigiamų atvejų skaičių.

Pagrindinės OKT taikymo sritys:

- Audinių stebėjimas, kai tradiciniai chirurginiai metodai (biopsija) yra pavojingi arba neįmanomi;
- Pagalba chirurginių bei mikrochirurginių operacijų metu orientuojantis audinių struktūrose;
- Audinių vaizdo atkūrimas chirurginio šalinimo metu siekiant sumažinti klaidų tikimybę, kai pažeisti ar piktybinių navikų apimti audiniai yra aptinkami imant mėginius.

Atliekant OKT galima vaizdinti periferinius nervus bei išskirti atskirus jų pluošteliuos. Pirmiausia gaunami atskiri audinio skerspjūviai, paskui iš jų sudaromas trimatis vaizdas. Pasinaudojant tokiais vaizdais galima nustatyti santykinis atskirų nervinio audinio skaidulų skersmenis ir sekti jų erdvinį išsidėstymą. Taip pat galima aptikti ir nustatyti nervinio audinio pažeidimo laipsnį.

Daugelio OKT sistemų vaizdų raiška yra pakankama, kad būtų galima išskirti architektūrinę, bet ne ląstelinę audinių morfologiją.



8 pav. Optinės koherentinės tomografijos pavyzdiniai tyrimo rezultatai.

Optinė koherentinė tomografija, be kitų taikymo sričių, itin sėkmingai taikoma oftalmologijoje. OKT ypač sėkmingai taikoma tinklainės struktūrų analizei esant įvairioms patologijoms:

- makulos skylėms ir pseudoskylėms;
- vitreoretinės sąsajos pažeidimams ir vitreoretinės traukos sindromui;
- foveos retinošiziui;
- epiretininėms membranoms (makulos rauktukui);
- įvairioms makulos edemoms, tarp jų kraujagyslių trombozėms ir embolijoms bei diabetinei makulos edemai;
- tinklainės ir TPE seroziniam ir hemoraginiam atšokimui;
- juvenilinei ir senatvinei makulos degeneracijai;
- diabetinei retinopatijai;
- ūminėms ir lėtinėms epiteliopatijoms;
- subretininėms neovaskuliarizacijoms;
- intraretininėms ir preretininėms neovaskuliarizacijoms;
- tinklainės atrofijai;
- glaukomai ir jos sekimui.

Optinės koherentinės tomografijos vaizdus galima analizuoti kokybiškai, įvertinti kiekybiškai, palyginti su pakartotinių tyrimų vaizdais.

OKT leidžia nustatyti ir išmatuoti tokius akies parametrus:

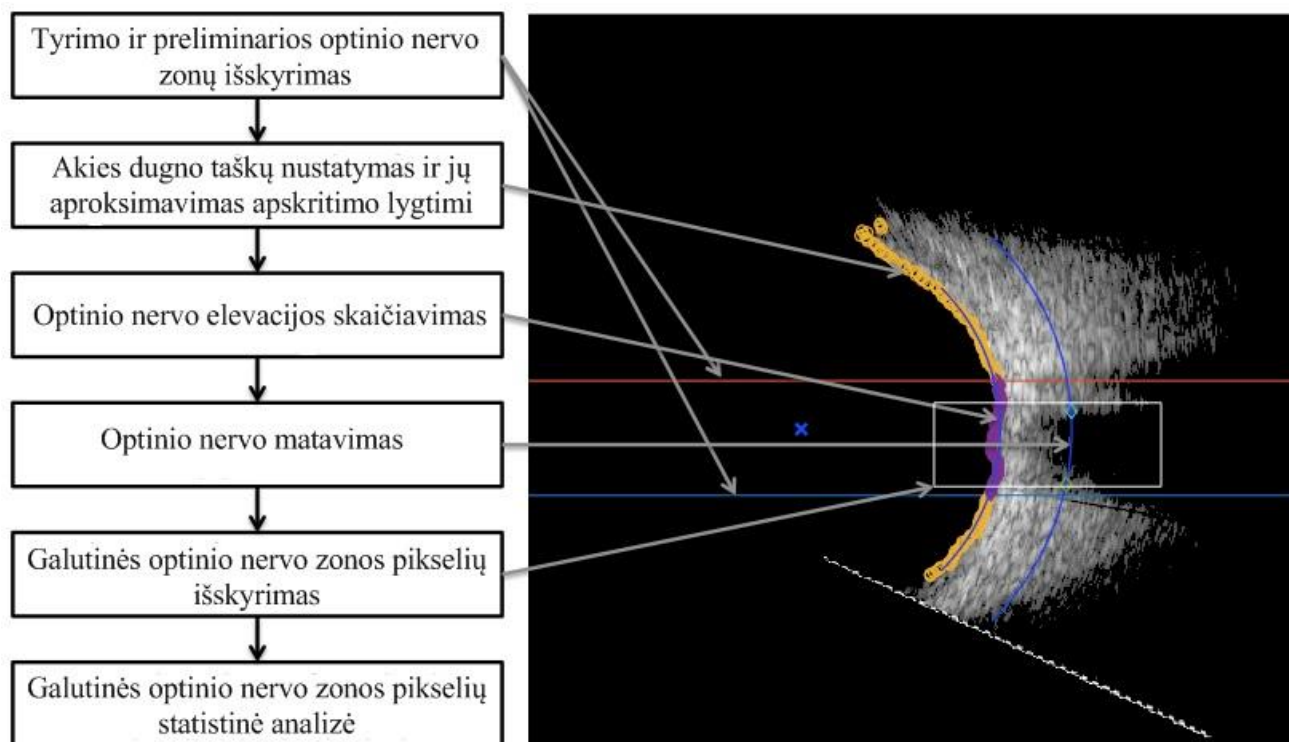
- morfologinius pokyčius;
- tinklainės storį;
- tinklainės nervinių skaidulų storį;
- tinklainės tūrį;
- įvairius optinio nervo disko parametrus.

Akivaizdu, kad optinė koherentinė tomografija puikiai tinkama akies struktūroms stebėti ir analizuoti, tačiau šis metodas yra sąlyginai brangus (lyginant su ultragarsiniais tyrimais) ir reikalauja įprastai stacionarios įrangos.

## 2. TIRIAMOJI DALIS

### 2.1 Tyrimo tikslas

Bendras viso tyrimo tikslas yra sukurti algoritmą, kuris automatiškai ultragarsiniuose B skenavimo režimo vaizduose išskirtų optinį nervą, atliktų jo matavimus ir kitus statistinius aktualios zonos skaičiavimus. 9 pav. parodo apibendrintą algoritmą.



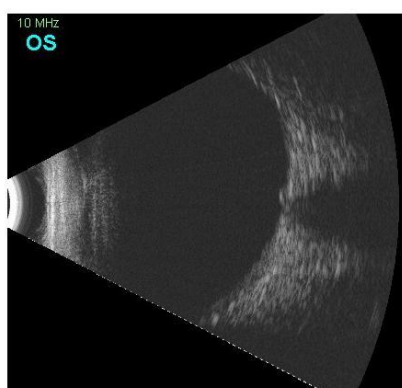
9 pav. Sukurto algoritmo schema su šalia parodytais realiais, algoritmo punktus atitinkančiais žymėjimais.

9 pav. algoritmas teikia bendrą informaciją apie programos etapų tikslus bei eiliškumą. Kiekvienas etapas plačiau paaiškinamas tolesniuose skyriuose, pažymint, kaip ir kodėl pasirinkti atitinkami metodai bei slenkstinės vertės.

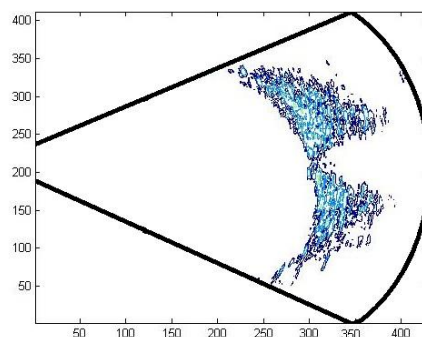


### 2.1.1 Tyrimo zonos išskyrimas

Viso vaizdo apdorojimas pradedamas nuo „tyrimo zonos“ išskyrimo. Tyrimo zona (angl. „Region Of Interest“) - tai realus, ultragarsiniu skanerių gautas vaizdas, kuris toliau naudojamas siekiant išskirti nervą. Dauguma medicininių vaizdų pateikiami su tam tikra papildoma informacija, kuri tolimesnio vaizdo apdorojimo metu programos gali būti interpretuota kaip svarbi vaizdinė informacija ir taip iškraipyti gaunamus rezultatus. Tokia papildoma informacija gali būti ultragarsinio keitiklio parametrai, paciento indikacija, akies žymėjimas (kairė ar dešinė) ir kt. Žemiau pateiktame paveikslėlyje matomas realus gaunamas vaizdas su šalia išskirta tyrimo zona.



**a**



**b**

10 pav. Realus vaizdas (a) ir išskirta jo tyrimo zona (b).

Toks pradinis vaizdo apdorojimas, atliekamas išėdinimo (angl. erode) ir išplėtimo (angl. dilate) komandomis, užtikrina, kad tolimesnio vaizdo apdorojimo metu programa dirbs tik su realaus vaizdo tyrimo zona.

Taip pat ne visas gaunamas vaizdas yra reikalingas optiniam nervui ir jo parametrams matuoti – akies struktūros, tokios kaip lęšiukas, nėra svarbios, dėl to tolimesniame vaizdo apdorojime naudojama praktiškai tik pusė vaizdo – akies dugnas, optinis nervas ir jam gretimos struktūros. Panaikinus nereikalingas tyrimui struktūras gaunamas vaizdas toliau naudojamas atliekant optinio nervo atpažinimą, nervo parametrų matavimus.

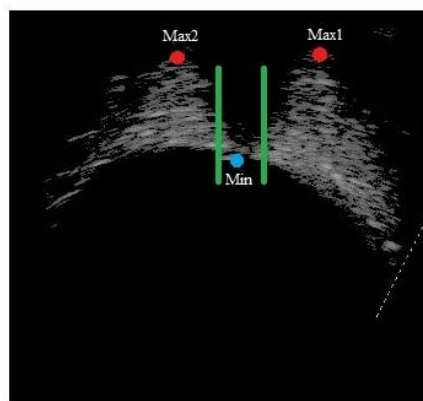
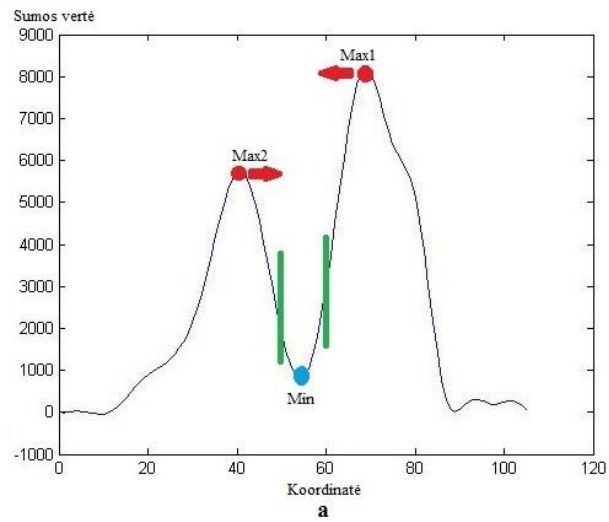
## 2.1.2 Optinio nervo zonos išskyrimas

Optinis nervas ultragarsiniame vaizde pastebimas kaip tamsesnė zona, ribojama kiek šviesesnių pilkų struktūrų. Gretimos šviesesnės struktūros ir panaudojamos nervo išskyrimui.

Pastebėtina, kad naudoti visą vaizdą nėra praktiška. Tyrimo metu dirbant su visomis vaizdo eilutėmis labiau apkraunama sistema, taip pat atsiranda įvairių netikslumų, tokių kaip dideli netolygumai kreivėse, atsirandantys dėl paprasčiausių nedidelių triukšmų ultragarsiniame vaizde. Atliekant tyrimą pastebėta, kad užtenka naudoti tik ketvirtadalį visų eilučių, kad duomenys būtų pakankamai tikslūs ir informatyvūs.

Atliekant tyrimą, visų pirma skaičiuojama kiekvienos vaizdo eilutės verčių suma, t.y. sudedamos visų toje eilutėje esančių pikselių reikšmės. Pagal gautas vertes randamas vienas iš vaizdo maksimumų („Max1“ 11 pav.), naudojamų nervui identifikuoti. Šis maksimumas naudojamas kaip vienas iš taškų optinio nervo zonai išskirti. Nervu dalis, besiribojanti su akies dugnu (optinis diskas), atitinka minimumą tarp dviejų maksimumų, taigi būtina rasti kitos nervo pusės maksimumo tašką. Svarbu pažymėti, kad nebūna aišku, kurios pusės (kairės ar dešinės optinio nervo zonos pusės) maksimumas randamas. Todėl ieškant antrojo maksimumo („Max2“ 11 pav.) programa turi rasti maksimumus į abi puses nuo absoliutaus maksimumo ir palyginti, kurioje pusėje gauta didesnė vertė.

Turint abu maksimumus atitinkamomis kryptimis (pažymėtos rodyklėmis 11 pav.) ieškomas minimumas tarp šių taškų. Svarbu suprasti, kad rasti maksimumai neparodo realių optinio nervo kraštinių – šie taškai realiai atitinka optinį nervą ribojančias struktūras, kurias ultragarsinis skaneris užfiksavo giliausiai. Taigi, realias optinio nervo ribas nustatome empiriniu būdu – ribomis laikomas penktadalis atstumo tarp minimumo ir atitinkamų pusių maksimumų.

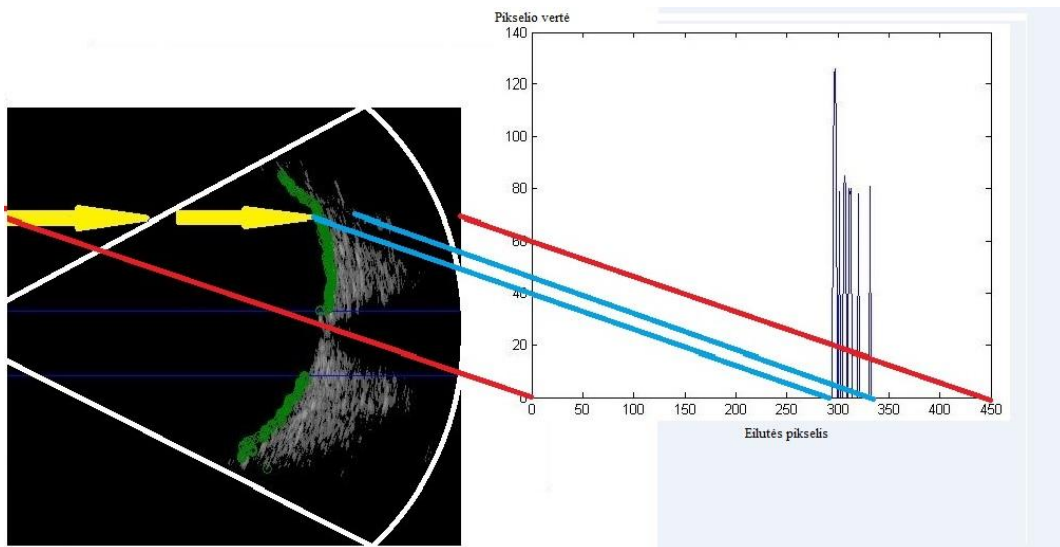


**b**

11 pav. a) Ketvirtadalio vaizdo eilučių sumos kreivė su pažymėtais maksimumais (raudoni taškai „Max1“ ir „Max2“), minimumu (mėlynas taškas „Min“) ir empiriniu būdu nustatytais optinio nervo ribomis (žalios linijos); b) originalus vaizdas su atitinkamais žymėjimais.

### 2.1.3 Akies dugno nustatymas

Optinio nervo parametrų matavimams svarbu nustatyti kreivę, atitinkančią akies dugną. Tam reikia rasti visus tyrimo zonos taškus, kuriuose pradedamos fiksuoti akies struktūros (žiūrint nuo ultragarsinio skanerio, t.y. iš kairės į dešinę pusę).



12 pav. Realiamame vaizde išskirta pavyzdinė eilutė su šalia parodyta tos eilutės verčių diagrama.

Akies dugno kraštams panaudojamas algoritmas, ieškantis nejuodų taškų. Tikrinama kiekviena vaizdo eilutė. Visų pirma algoritmas tikrina, ar tikrinamas eilutės taškas priklauso tyrimo zonai (kairė geltona rodyklė 12 pav.). Visi taškai, neįeinantys į šią zoną, prašokami. Esant tyrimo zonoje stebimos eilutės pikselių vertės – akies dugno taškas atitinka pirmą eilutėje užfiksuotą ne nulines vertės (nejuodą) tašką. 12 pav. matome vienos eilutės verčių kreivę – matome, kad akies dugno taškas fiksuojamas ties apytiksliai 300 eilutės pikseliu. Visų šių taškų koordinatės (žali taškai 12 pav.) išsaugomos ir toliau naudojamos aproksimuojant akies dugną.

Akies dugnas aproksimuojamas apskritimo lygtimi (1).

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (1)$$

čia:  $x$  ir  $y$  - užfiksuotų taškų koordinatės,  $a$  ir  $b$  - apskritimo centro koordinatės,  $r$  – apskritimo spindulys.

Pastebėta, kad ieškant akies dugno taškų reikia ignoruoti optinio nervo zonai priklausančius akies dugno taškus, nes dėl galimų patologijų jie gali daryti įtaką klaidingam aproksimavimui apskritimu.

Apskritimo centro taško koordinatės programa apskaičiuoja naudodama mažiausių kvadratų metodą (angl. „Least Square Method“). Ieškomas centras, labiausiai atitinkantis apskritimo lygtį pagal turimus užfiksuotus akies dugno taškus, t.y. skaičiuojama mažiausia kvadratinė paklaida kiekvienam užfiksuotam taškui.

### 2.1.4 Optinio nervo pradžios taškai

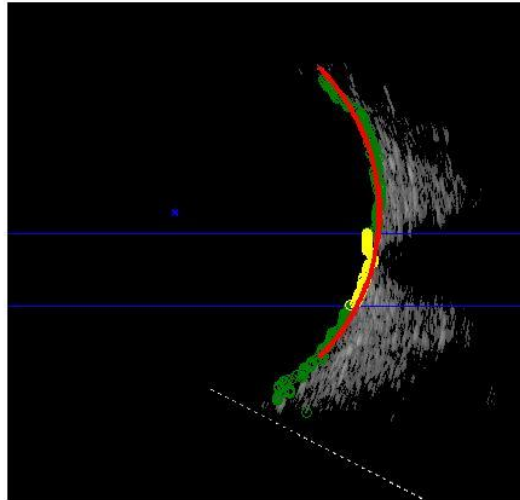
Optinio nervo pradžia (optinis diskas) teikia svarbią informaciją, galinčią indikuoti kai kurias patologijas, dėl to juos svarbu įvertinti. Tiksliau, svarbu įvertinti ne pavienius taškus, bet bendrą optinio nervo pradžios struktūrą.

Optinio nervo pradžios taškai ieškomi lygiai taip pat, kaip ir akies dugno taškai. Tyrimo zonoje ieškomi pirmieji nejuodi taškai ir fiksuojamos jų koordinatės. Tada skaičiuojamas jų vektorinis atstumas (2) iki gauto aproksimuoto apskritimo centro.

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} = c \quad (2)$$

čia:  $x_1$  ir  $y_1$  – aproksimuoto apskritimo centro koordinatės,  $x_2$  ir  $y_2$  – eilutės optinio taško koordinatės,  $c$  – atstumas tarp apskritimo centro ir taško.

Apskaičiuoti atstumai palyginami su aproksimuoto apskritimo spindulio ilgiu, t.y. skaičiuojamas jų skirtumas. Turint visus skirtumus ir apskaičiavus jų sumą gaunamas optinio nervo pradžios įvertinimas, t.y. struktūros išsikišimo arba įdubimo plotas. Žinoma, sumuojant skirtumus neatsižvelgiama į skirtumo ženklą, todėl nėra nustatoma, ar pastebimas išsikišimas, ar įdubimas, tačiau svarbiau įvertinti bendrą struktūros dydį. Ar užfiksuotas įdubimas, ar išsikišimas visada akivaizdžiai matoma dėl taškų žymėjimo ant apdorojamo vaizdo.

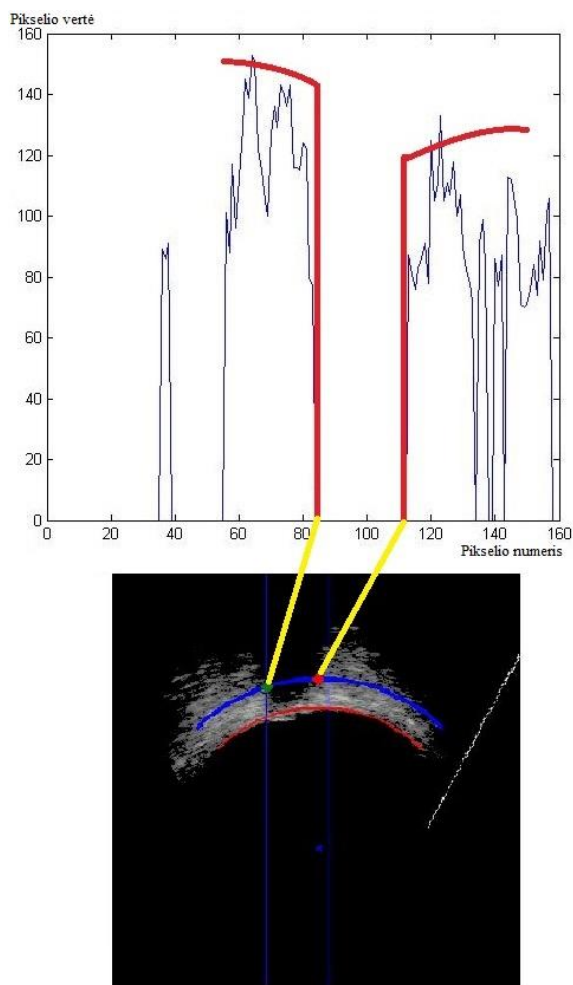


13 pav. Ultragarsiniame vaizde įbrėžtas apskritimas. Žaliai pažymėti akies dugno taškai, pagal kuriuos apskaičiuotas apskritimo centras ir spindulys, geltonai – taškai optinio nervo pradžios struktūros įvertinimui.

### 2.1.5 Optinio nervo skersmens matavimas

Optinio nervo skersmuo standartiškai matuojamas 3mm nuo optinio disko. Tam, kad ir šiuo atveju matavimas būtų atliekamas tokiu atstumu, brėžiamas antras apskritimas. Antras apskritimas brėžiamas pagal tą pačią lygtį, kuri buvo gauta aproksimavus akies dugno taškus, tik spindulys pakeičiamas 3mm didesniu.

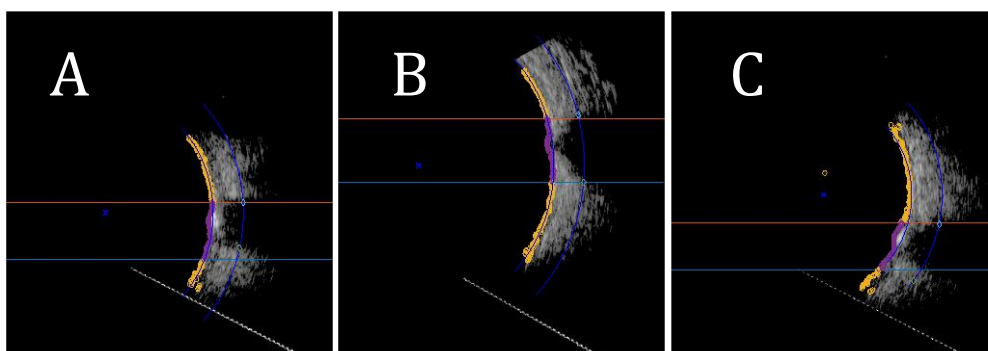
Optinio nervo zonoje ant antrojo apskritimo esantys taškai išrenkami panašiai kaip ir akies dugno taškai, tik skiriasi, ko ieškoma. Jei akies dugno taškams surasti ieškota pirmieji nejuodi eilutės taškai, čia ieškoma ne koordinatė, bet vertė, t.y. kiekviena optinio nervo zonos eilutė tikrinama, kol randamas taškas, priklausantis antrajam apskritimui, ir įsimenama to pikselio vertė. Gavus visus antrojo apskritimo taškus, esančius optinio nervo zonoje, nubrėžiama kreivė (14 pav.).



14 pav. Antrojo apskritimo taškų verčių diagrama su šalia parodytu realiu vaizdu. Mėlynas lankas atitinka antrojo apskritimo dalį.

14 pav. matome, kaip atrodo išskirta optinio nervo zona. Optinio nervo skersmeniui išmatuoti reikalingi du taškai, tačiau juos rasti pasikliaujant maksimumu ar minimumu praktiškai neįmanoma dėl nedidelių, tačiau visada pasimatančių ultragarsinio vaizdo triukšmų. Raudonos linijos 14 pav. parodo idealizuotą atvejį, kur tiesės atitinka optinio nervo kraštines. Naudojamas metodas panašus į optinio nervo zonos išskyrimą, tačiau dėl esamų triukšmų paprastai būna kiek sudėtingesnis. Minimumo taškas, gautas prieš tai, išskiriant optinio nervo zoną, panaudojamas kaip atskaitos taškas. Programa eidama į abi puses nuo minimumo skaičiuoja 4 gretimų pikselių verčių sumas. Šiai sumai viršijus 400 galima teigti, kad užfiksuota optinio nervo kraštinė. Pikselių skaičius ir slenkstinė sumos vertė pasirinktos empiriniu būdu atsižvelgus į naudojamų vaizdų teikiamus duomenis.

### 3. REZULTATAI

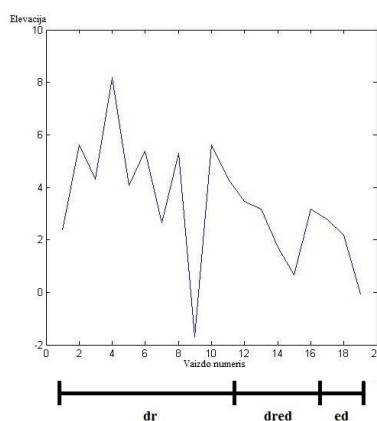


15 pav. Pavyzdiniai patologijų atvejai: A – drūza; B – edema; C – drūza ir edema.

Aukščiau pateiktame paveikslėlyje matomi tipiniai drūzos, edemos ir drūzos kartu su edema atvejai. Patologijos identifikavimas grindžiamas statistiniu galutinės optinio nervo zonos pikselių įvertinimu. Vienas iš pirminių parametrų šiam identifikavimui yra elevacijos įvertinimas.

#### 3.1 Elevacija

Elevacija parodo, kiek stipriai optinio nervo pradžia yra išsikišusi ar įdubusi aproksimuoto apskritimo atžvilgiu. Idealiu atveju, nesant jokiai patologijai, elevacija praktiškai lygi nuliui. Tirtų vaizdų atvejais elevacija niekada nebuvo lygi nuliui, kas leidžia manyti, kad šis parametras informatyvus, nes visi naudoti vaizdai turėjo vieną iš anksčiau minėtų patologijų. Kaip bebūtų, atsižvelgiant į gautus rezultatus, elevacija tiesiogiai neindikuoja patologijos, tik gali padėti patvirtinti jos buvimą, t.y. elevaciją pastebime tiek drūzos, tiek edemos, tiek drūzos ir edemos vienu metu atvejais.

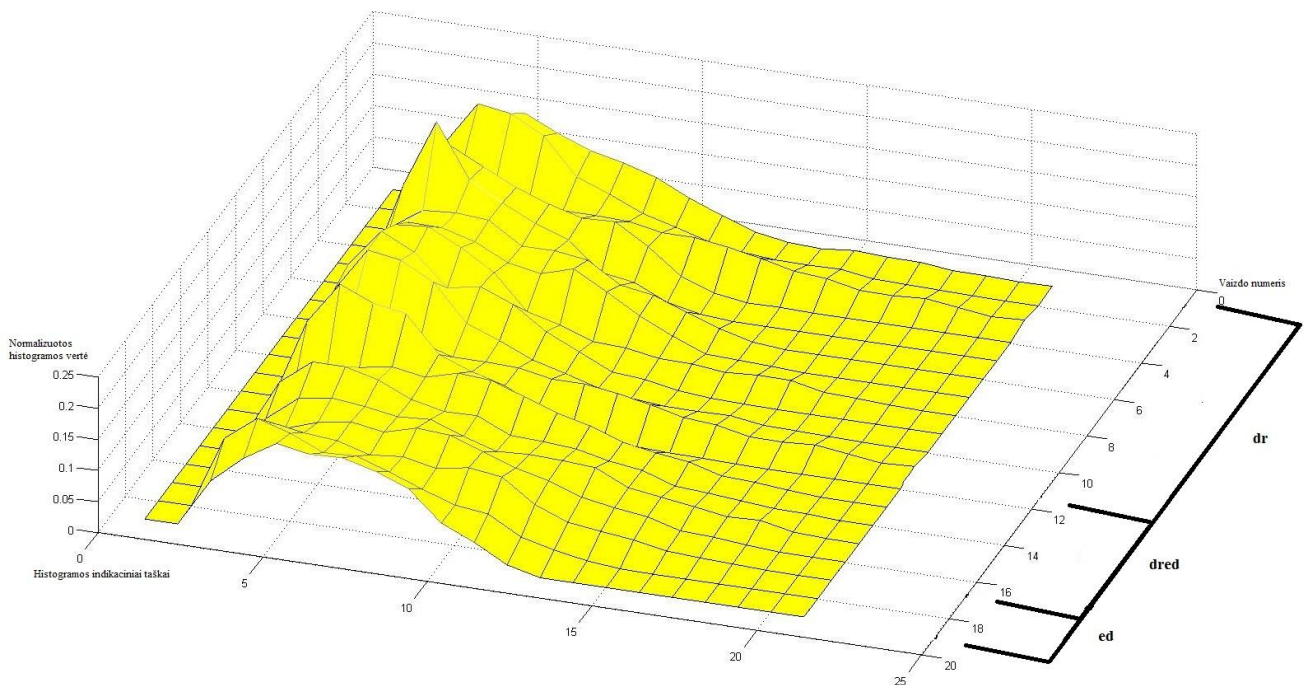


16 pav. Visų tirtų vaizdų elevacijos kreivė (dr – drūza; dred – drūza ir edema; ed - edema).



### 3.2 Normalizuota histograma

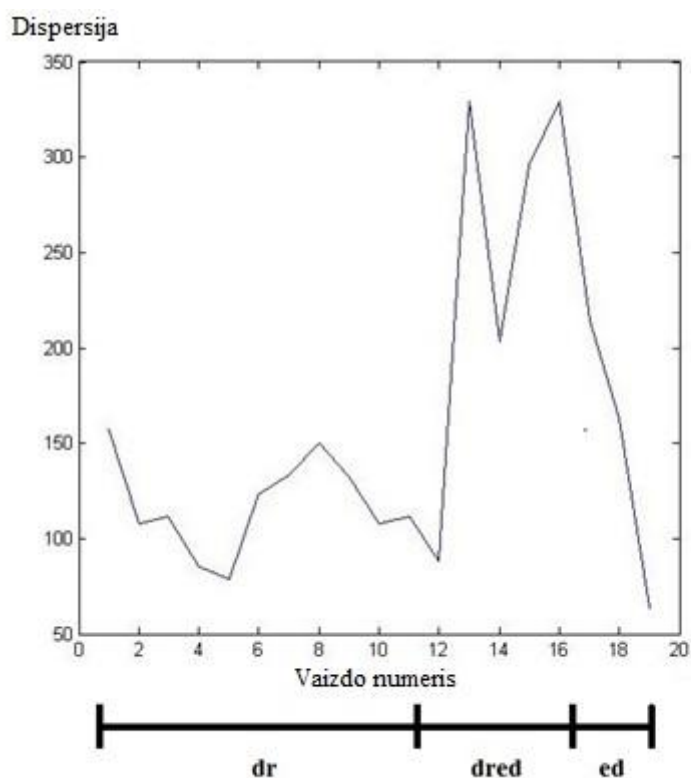
Kitas svarbus indikacinis dydis patologijai nustatyti yra histograma, tiksliau, normalizuota histograma. Histograma parodo atitinkamos vertės pikselių pasiskirstymą galutinėje optinio nervo zonoje. Šiuo atžvilgiu tikėtina, kad histograma yra informatyvi drūzos atveju. Drūza pastebima kaip baltesni pikseliai optinio nervo pradžioje. Kaip galima pastebėti iš 17 pav., drūzos atvejais histograma visada gaunama statesnė nei edemos atveju. Tas pats pastebėtina ir esant drūzai ir edemai vienu metu – histograma vis tiek gaunama smailesnė nei edemos atveju. Visa tai galima paaiškinti didesniu baltesnių pikselių skaičiumi nervo zonoje.



17 pav. Visų tirtų vaizdų normalizuotos histogramos (dr – drūza; dred – drūza ir edema; ed - edema).

### 3.3 Dispersija

Dar vienas iš skaičiuojamų dydžių yra dispersija. Pagal jos dydį matome, kaip stipriai galutinės optinio nervo zonos pikselių vertės išsibarsčiusios lyginant su vidurkiu. Iš žemiau pateikto grafiko matome, kad išsibarstymas gaunamas žymiai didesnis esant edemai. Taip pat reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kad drūzos ir edemos atveju atskirti nuo vien tik edemos praktiškai neįmanoma.



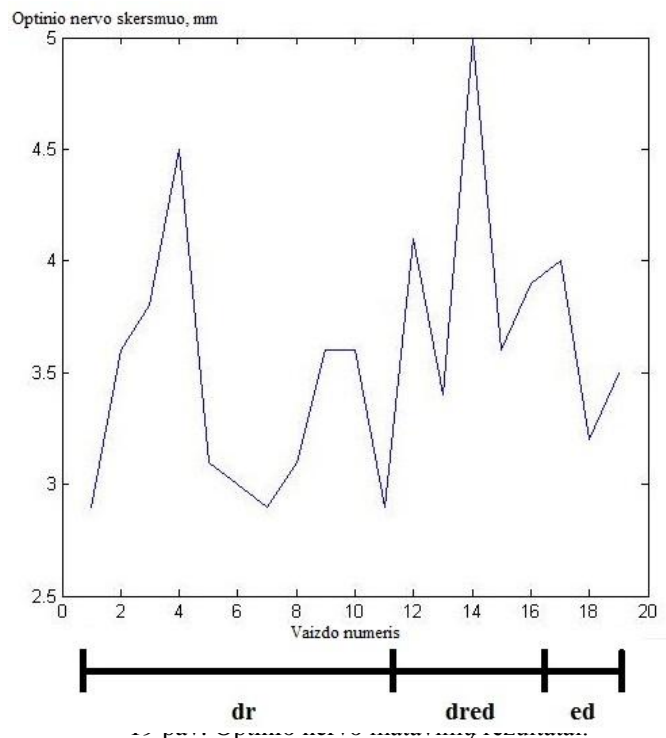
18 pav. Visų tirtų vaizdų dispersijos kreivė (dr – drūza; dred – drūza ir edema; ed - edema).

### 3.4 Optinio nervo skersmens matavimo rezultatai

Optinio nervo matavimai, kaip ir minėta teorinėje dalyje, atlikti standartiniu atstumu nuo optinio nervo pradžios – 3mm. Žemiau pateikiami optinio nervo skersmens matavimo rezultatų duomenys.

5lentelė. Optinio nervo matavimų rezultatai (patologijos: dr – drūza; dred – drūza ir edema; ed- edema).

Eil. Nr.	Patologija	Optinio nervo skersmuo, mm
1	dr	2.9
2	dr	3.6
3	dr	3.8
4	dr	4.5
5	dr	3.1
6	dr	3.0
7	dr	2.9
8	dr	3.1
9	dr	3.6
10	dr	3.6
11	dr	2.9
12	dred	4.1
13	dred	3.4
14	dred	5.0
15	dred	3.6
16	dred	3.9
17	ed	4.0
18	ed	3.2
19	ed	3.5



Kaip matome iš aukščiau pateiktos lentelės ir 19 pav., gauti rezultatai neleidžia tiksliai indikuoti patologijos. Pastebime, kad imant vidutines reikšmes edemos ar drūzos ir edemos kartu atvejais skersmuo gaunamas kiek didesnis nei vien drūzos atveju. Apibendrinant, optinio nervo skersmuo šiais atvejais nėra rekomenduojamas indikacinis tiriamų patologijų požymis.

### 3.5 Rezultatų diskriminantinė analizė

Elevacija, normalizuota histograma ir dispersija teikia nemažai statistinės informacijos, tačiau dėl sąlyginai mažo bandytų vaizdų kiekio daryti tikslias išvadas remiantis matomais požymiais sunku. Dėl šios priežasties buvo pasitelkta statistinė analizė, kuriai buvo panaudoti šie požymiai: standartizuotos 21 normalizuotos histogramos indikacinės reikšmės, atitinkančios svarbiausias jos vietas, ir tokie statistiniai parametrai, kaip vidurkis, standartinis nuokrypis, asimetrija, ekscesas ir entropija. Visi šie 26 parametrai buvo panaudoti visų vaizdų analizei. Visos šios vertės buvo normalizuotos. Diskriminantinė analizė buvo panaudota gauti kanoninei diskriminantinei funkcijai, apibūdinančiai tirtų patologijų atvejus. Kanoninę funkciją sudaro keli požymiai su juos optimizuojančiomis svorinėmis vertėmis.

$$Y_i = l_1X_1 + l_2X_2 + l_3X_3 + l_pX_p + C_i \quad (3)$$

čia  $X_p$  atitinką požymi, o  $l_p$  – to požymio įvertį.

12 pradinių požymių buvo pasirinkta sudarant 2 kanonines funkcijas duomenų klasifikavimui remiantis Fisher'io statistika ir Wilk'so Lambda kriterijumi. Žemiau pateiktoje lentelėje matoma, kaip abi kanoninės funkcijos atitinka tikrinę kovariacinės matricos vertę. Kuo geriau funkcija diskriminuoja grupes, tuo didesnę dispersijos dalį ji turi paaiškinti. Kanoninė koreliacija yra diskriminavimo galios matas (reikšmių sritis nuo 0 iki 1) – kuo šis koeficientas arčiau 1, tuo diskriminavimas geresnis.

6 lentelė. Kanoninių funkcijų tikrinės vertės.

<b>Funkcija</b>	<b>Tikrinė vertė</b>	<b>Dispersija, %</b>	<b>Kaupiamoji dispersijos dalis, %</b>	<b>Kanoninė koreliacija</b>
1	134,070	93,2	93,2	.996
2	9,820	6,8	100,0	.953

Kaip matome iš 6 lentelės, abi funkcijos tinkamos diskriminavimui – abiejų kanoninės koreliacijos koeficientai artimi 1. Tačiau pirma funkcija geresnė, nes ji paaiškina 93.2% dispersijos (bei turi truputį didesnę kanoninę koreliaciją), o antroji – tik 6,8%.

Žemiau matomas apskaičiuotas Wilk'so Lambda kriterijus. Wilk'so Lambda kriterijus skirtas įvertinti ar kanoninių funkcijų vidurkiai skirtingose grupėse statistiškai reikšmingai skiriasi, t.y. Wilk's Lambda parodo funkcijų diskriminavimo galią. Kuo šis kriterijus mažesnis (Wilk's Lambda gali įgyti vertes nuo 0 iki 1), tuo funkcijų diskriminavimo gali didesnė.

7 lentelė. Kanoninių funkcijų Wilk'so Lambda kriterijus.

Testuojama funkcija	Wilk'so Lambda	Chi <sup>2</sup>	df	Reikšmingumas
1 ir 2	.001	61.941	24	<0.01
2	.092	20.242	11	.042

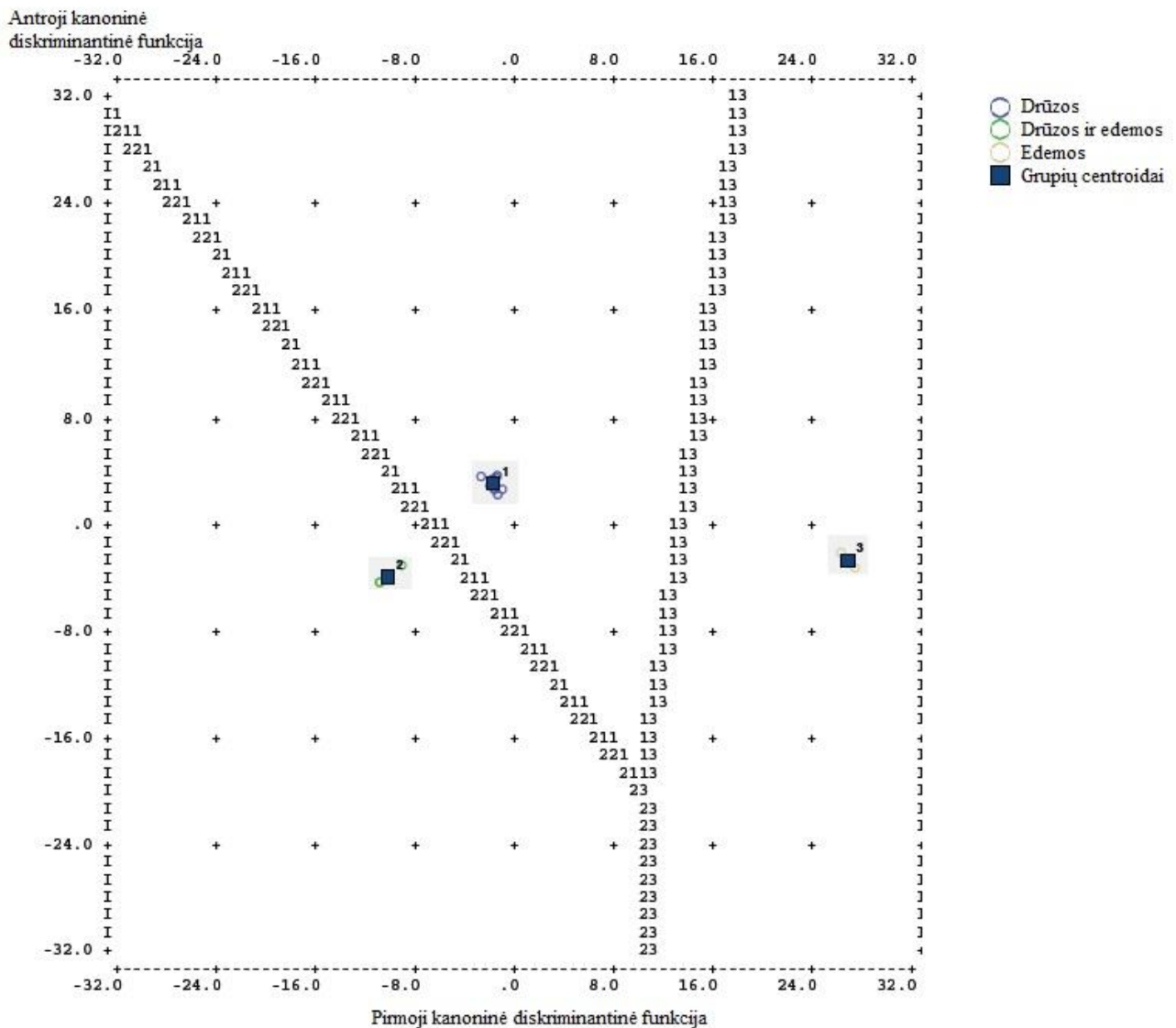
Kaip matome iš 7 lentelės panaudojant abi funkcijas gaunamas labai geras diskriminavimas – Wilk's Lambda labai mažas (lygus 0.001). Atitinkamai abi funkcijas diskriminavimui naudoti rekomenduoja ir reikšmingumo kriterijus, kuris panaudojant abi funkcijas gaunasi minimalus..

8 lentelė. Standartizuotų kanoninių diskriminantinių funkcijų koeficientai.

	Funkcija	
	1	2
NormHist003	19.976	-3.643
NormHist004	3.554	6.430
NormHist005	11.114	4.164
NormHist006	6.823	-5.266
NormHist007	12.205	-3.969
NormHist008	-1.619	2.627
NormHist009	-6.323	8.439
NormHist010	24.528	-13.592
NormHist011	17.923	10.234
NormHist012	-13.304	-.878
NormHist013	25.300	-9.504
NormHist015	2.835	6.142

Įdomus pastebėjimas, kad tik tam tikros histogramos vertės buvo parinktos į kanoninę funkciją. Kuo didesnis koeficientas, tuo didesnė jo svarba klasifikavimui. Kaip matome 3-ia, 10-a ir 13-a histogramos vertės atrinktos kaip svarbiausios. Visi iš anksto sugrupuoti vaizdai buvo teisingai suklasifikuoti, tačiau tik 58,8% iš kryžminių vaizdų buvo teisingai klasifikuoti.

Remiantis Fisher'io statistika, tikslingas požymių klasifikavimas (mažiausias dalinis F įvedimui 3.84, didžiausias pašalinimui – 2.71) atrinko standartinę nuokrypį kaip vienintelį požymį klasifikavimui. Šiuo atveju 76,5% pradinių vaizdų buvo teisingai klasifikuoti.



20 pav. Diskriminantinės analizės teritorinis planas.

Iš aukščiau pateikto 20 pav. matome, kad atskiri drūzų, edemų ir kombinuotų drūzos ir edemos atvejai išskirti tarpusavyje – centroidai pakankamai nutolę vieni nuo kitų, nėra patologinių atvejų persidengimo. Taip pat matome, kad skirtingų vaizdų atvejais išsibarstymas aplink centroidus nėra didelis, dėl to galima teigti, kad pasinaudojant diskriminantine analize galima sėkmingai išskirti patologinius atvejus. Tikėtina, kad apdorojus vaizdus, iš jų gavus aukščiau naudotus duomenis (21 normalizuotos histogramos indikacines vertes, vidurkį, standartinį nuokrypį, asimetriją, ekscesą ir entropiją) ir juos teisingai aprašius kanonine diskriminantine funkcija vaizde matoma patologija bus teisingai identifikuota.

## REZULTATŲ APITARIMAS IR IŠVADOS

Pasidomėjus kitais galimais akies struktūrų tyrimo metodais (kompiuterinės tomografijos, magnetinio rezonanso ir optinės koherentinės tomografijos), visgi pasirinktas ultragarsinis tyrimas tiriamiems vaizdams gauti. Pasirinkimui darė įtaką ultragarsinio tyrimo universalumas – pigus, greitas metodas, nereikalaujantis stacionarios ar labai brangios įrangos. Verta paminėti, kad antroje vietoje neabejotinai būtų OKT dėl taip pat greito ir informatyvaus tyrimo. Pagrindinis ultragarsinių vaizdų trūkumas lyginant su kitais metodais – vaizdo struktūrų raiška. Tačiau svarbu paminėti, kad ultragarsiniu metodu gaunama raiška buvo patenkinama ir vaizdai buvo tinkamai apdoroti išskiriant svarbiausius parametrus.

Sukurtas algoritmas teisingai atliko reikiamus matavimus. Algoritmas veikė taip pat su visais tirtais vaizdais, kas leidžia teigti, jog matavimai būtų atlikti taip pat teisingai ir su kitais tokio paties tipo (tuo pačiu ultragarsiniu skaneriu) gautais vaizdais. Dalis slenkstinių parametrų algoritme buvo parinkta empiriniu būdu, kas leistų patobulinti algoritmą šiuos parametrus automatizuojant. Tačiau tam reikėtų didesnės vaizdų imties, kas šio darbo metu nebuvo įmanoma. Taip pat didesnis vaizdų skaičius leistų tiksliau įvertinti, ar gerai vykdomi optinio nervo matavimai, kas, kaip matoma iš rezultatų, nėra visiškai aišku.

Diskriminantinės analizės duomenys gauti stebėtinais gerai – gautas teritorinis planas leidžia daryti išvadas, kad tyrinėtų patologijų (drūzų, edemų ir drūzų-edemų) atvejus galima išskirti sudarius kanonines vaizdų duomenų funkcijas. Stebėtinasis faktas, kad iš naudotų 26 parametrų tik 3 normalizuotos histogramos vertės bei dispersija buvo parinktos kaip reikšmingiausios kanoninių funkcijų sudarymui. Apibendrinant diskriminantinę analizę galima teigti, kad jos panaudojimo tirtų patologijų išskyrimo atvejams išskirti nauda nekelia abejonių. Diskriminantinės analizės teisingumą taip pat parodo ir labai mažas kanoninės funkcijos Wilk'so Lambda kriterijus, siekiantis 0.001 panaudojant abi sukurtas kanonines funkcijas.

Išvados:

1. Išanalizuota optinio nervo ir jo aplinkos ultragarsinių b-scan vaizdų kilmė ir atrinkti diagnostiška informatyvūs požymiai edemų bei drūzų diagnostikai.
2. Sukurtas akies ultragarsinio b-scan vaizdo struktūrinės analizės algoritmas išskiriantis tinklainės paviršių ir optinio nervo viršūnės sritį bei paruošiantis duomenis diagnostiniam vertinimui.
3. Sukurta informatyvių optinio nervo viršūnės vaizdo požymių sistema leidžianti atskirti optinio nervo drūzų, edemų ir kombinuotus drūzų/edemų atvejus.

## NAUDOTOS LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. **Ultragarsas.** Prieiga internete:  
<http://www.mrcophth.com/commonultrasoundcases/principlesofultrasound.html> [žiūrėta:2015-03-02].
2. **Ultragarsinių vaizdų sudarymas.** Prieiga internete:  
<http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/> [žiūrėta:2015-03-04].
3. **Regos sistema.** Prieiga internete:  
<http://www.avevitaklinika.lt/lt/seimos-klinika/zinynas/bendra-informacija/anatomija-ir-fiziologija-----html> [žiūrėta:2015-03-09].
4. **Regos nervas.** Prieiga internete:  
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/430325/optic-nerve> [žiūrėta:2015-03-11].
5. **Optinio nervo sutrikimai.** Prieiga internete:  
[http://www.nature.com/eye/journal/v18/n11/fig\\_tab/6701575t1.html#figure-title](http://www.nature.com/eye/journal/v18/n11/fig_tab/6701575t1.html#figure-title) [žiūrėta:2015-03-11].
6. **Optinio disko drūzos.** Prieiga internete:  
<http://www.nanosweb.org/files/public/drusenlp.pdf> [žiūrėta:2015-04-06].
7. **Optinio nervo drūzos.** Prieiga internete:  
<http://www.aapos.org/terms/conditions/82> [žiūrėta:2015-04-06].
8. **Optinio disko patinimas.** Prieiga internete:  
[http://www.patient.co.uk/doctor/Optic-Disc-Swelling-\(including-Papilloedema\).htm](http://www.patient.co.uk/doctor/Optic-Disc-Swelling-(including-Papilloedema).htm) [žiūrėta:2015-04-06].
9. **OCT: New perspectives in neuro-ophthalmology.** G. Rebolleda, L. Diez-Alvarez, A.Casado, C. Sanchez-Sanchez, E. de Dompablo, J. J. Gonzalez-Lopez, F. J. Munoz-negrete. Saudi Journal of Ophthalmology (2015) 29, 9-25.
10. **Sonographic Evaluation of Optic Nerve Diameter in Children With Raised Intracranial Pressure.** A. A. Malayeri, MD, S. Bavarian, MD, M. Mehdizadeh, MD. J Ultrasound Med 2005; 24:143-147.
11. **Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury.** T. Geeraerts, Y. Launey, L. Martin, J. Pottecher, B. Vigue, J. Duranteau, D. bendhamou. Intensive Care Med (2007) 33: 1704-1711.
12. **Optic Nerve Ultrasound for the Detection of Raised Intracranial Pressure.** V. Rajajee, M. Vanaman, J. J. Fletcher, T. L. Jacobs. Neurocrit Care (2011) 15: 506-515.
13. **Optic Nerve sheath ultrasound in the assessment of paediatric hydrocephalus.** D. McAuley, A. Paterson, L. Sweeney. Childs Nerv Syst (2009) 25: 97-90.



14. **Measurement of optic nerve sheath diameter by ultrasound: a means of detecting acute raised intracranial pressure in hydrocephalus.** W.D. Newman, A.S. Hollman, G.N. Dutton, R. Carachi. May 9, 2014 – Published by group.bmj.com.
15. **High-Resolution CT of Lesions of the Optic Nerve.** Robert G. Peyster, Eric D. Hoover, Beverly L. Hershey, Marvin E. Haskin. AJR 140: 869-874, May 1983.
16. **The Diagnostic Value of Computed Tomography in Orbital Diseases.** S. Wende, E. Kazner, Th. Grumme. Neursurg. Rev. 3 (1980) 43-49.
17. **Computed Tomography of orbital Lesions.** S. Wende, A. Aulich, A. Nover, W. Lanksch, E. Kazner, H. Steinhoff, W. Meese, S. Lange and T. Grumme. Neuroradiology 13, 123-134 (1977).
18. **Optic nerve atrophy and retinal nerve fibre layer thinning following optic neuritis: Evidence that axonal loss is a substrate of MRI-detected atrophy.** S Anand Trip, Patricio G. Schlottmann, Stephen J. Jones, Wai-Yung Li, David F. Garway-Heath, Alan J. Thompson, Gordon T. Plant and David H. Miller. NeuroImage 31 (2006) 286-193.
19. **Lesions discrimination in optic neuritis using high-resolution fat-suppressed fast spin-echo MRI.** A. Gass, I.F. Moseley, G.J. Barker, S. Jones, D. MacManus, W.I. McDonald, D.H. Miller. Neuroradiology (1996) 38: 317-321.
20. **Detection of optic nerve sheath atrophy following a single episode of unilateral optic neuritis by MRI using a fat-saturated short-echo fast FLAIR sequence.** S.J. Hickman, P.A. Brex, C.M.H. Brierley, N.C. Silver, G.J. Barker, N.J. Scolding, D.A.S. Compston, I.F. Moseley, G.T. Plant, D.H. Miller. Neuroradiology (2001) 43: 123-128.
21. **Clinical application of MRI in ophthalmology.** K. A. Townsend, G. Wollstein, J. S. Schuman. NMR Biomed. 2008 November; 21 (9); 997-1002.
22. **Optinė koherentinė tomografija.** Dr. A. Cimbalas. Lietuvos oftalmologija, 2005, tomas IV, Nr. 1 (10)
23. **Optinė koherentinė tomografija.** Prieiga internete:  
[http://www.biofotonika.ff.vu.lt/wp-content/uploads/2012/06/OptBio\\_5-skyrius.pdf](http://www.biofotonika.ff.vu.lt/wp-content/uploads/2012/06/OptBio_5-skyrius.pdf)

## SANTRUMPU SAŽASAS

1. IKS – intrakranijinis spaudimas (angl. ICP – Intracranial Pressure);
2. KT – kompiuterinė tomografija (angl. CT – Tomputed Tomography);
3. MR – magnetinis rezonansas (angl. MRI – Magnetic Resonance Imaging);
4. OKT – optinė koherentinė tomografija (angl. OCT – Optical Coherence Tomography).

## PRIEDAI

### 1. Bendroji dalis funkcijos nuskaitymui:

```
clear all;
close all;
DD=dir('*.*jpg');
[n,m]=size(DD);
for i=1:n
    FNN=DD(i,1).name
    [Hist(:,i), Elevacija(i,1), Dispersija(i,1),
ONdiametras(i,1)]=FunkcijaHistograma4(FNN);
    HistN(:,i)=Hist(:,i)/sum(Hist(:,i));
end
```

### 2. Funkcija:

```
clear all;
close all;

%% Nuskaitymas

% Mo = imread('1dr01b.jpg');
% Mo = imread('3ed01b.jpg');
Mo = imread('2dred01b.jpg');

figure
imshow(Mo)
%% Konstantos

pataisa=30;

%% Zonos isskyrimas

M_1=Mo(:,:,2);
M_1(M_1>1)=1;
se=strel('disk',11);
M1=imerode(M_1,se);

M=Mo(:,:,2);
M(M<70)=0;
[m,n]=size(M);
vidX=idivide(int16(n),2);
vidY=idivide(int16(m),2);
M(:,1:vidX-50)=0;

Mn=sum(M,2);
Mnf=resample(resample(Mn,1,20),5,1);
Mnn=diff(Mnf);
[mm,nn]=size(Mnn);

%% Optinio nervo isskyrimas
MnfMax=max(Mnf)
ip=1;
while ip<mm && Mnf(ip,1)<MnfMax/5
    ip=ip+1;
end
ig=mm;
```

```

while ig>1 && Mnf(ig,1)<MnfMax/5
    ig=ig-1;
end
[Maxp,ipmax]=max(Mnf(ip:ip+20,1));
ipmax=ipmax+ip;
[Maxg,igmax]=max(Mnf(ig-20:ig,1));
igmax=igmax+ig-20;
[Minv,ivmin]=min(Mnf(ipmax:igmax,1));
ivmin=ivmin+ipmax;

[Maxx,Im]=max(Mnn(ivmin:ivmin+20,1));
ona=Im+ivmin;
ONapacia=ona*4;

[Minn,Im]=min(Mnn(ivmin-20:ivmin,1));
onv=Im+ivmin-20;
ONvirusus=onv*4;

ONmin=min(Mn(ONvirusus:ONapacia,1));

%% Apskritimo tasku gavimas

k=0;
i=ONapacia;
while i<m && Mn(i,1)>ONmin
    j=1;
    while j<n && M1(i,j)<1
        j=j+1;
    end
    jj=0;
    while j<n && M(i,j)<10
        j=j+1;
        jj=jj+1;
    end
    if jj>10
        k=k+1;
        Ap(k,1)=j;
        Ap(k,2)=i;
    end
    i=i+1;
end

i=ONvirusus;
while i>5 && Mn(i,1)>ONmin
    j=1;
    while M1(i,j)<1
        j=j+1;
    end
    jj=0;
    while j<n && M(i,j)<10
        j=j+1;
        jj=jj+1;
    end
    if jj>10
        k=k+1;
        Ap(k,1)=j;
        Ap(k,2)=i;
    end
    i=i-1;
end

%% Apskritimo skaiciavimas

```

```

abc=[Ap(:,1) Ap(:,2) ones(k,1)] \ -(Ap(:,1).^2 + Ap(:,2).^2);
a=abc(1);
b=abc(2);
c=abc(3);
xc=-a/2;
yc=-b/2;
circle_radius=sqrt((xc^2 + yc^2) - c);
circle_radius1=circle_radius+pataisa;
CirRad=round(circle_radius);
CirRad1=CirRad+pataisa;

%% Optinio nervo tasku radimas

L=0;
i=ONvirusus;
Dist=0;
while i<ONapacia
    j=1;
    while M1(i,j)<1
        j=j+1;
    end
    jj=0;
    while j<n && M(i,j)<10
        j=j+1;
        jj=jj+1;
    end
    if jj>10
        L=L+1;
        Taskai(L,1)=j;
        Taskai(L,2)=i;
        Atstumas=sqrt((j-xc)^2+(i-yc)^2);
        Dist=Dist+round(Atstumas);
        Dist=Dist+round(circle_radius-Atstumas);
    end
    i=i+1;
end
Dist=Dist/L;
%% Nervo ribu ir apskritimo brezimas

imshow(M);
hold on;
ONa=ones(n,1)*ONapacia;
plot(1:n,ONa);
ONv=ones(n,1)*ONvirusus;
plot(1:n,ONv);
scatter(Ap(:,1),Ap(:,2));

scatter(Taskai(:,1),Taskai(:,2),'y');

circle_theta=-pi/4:0.01:pi/4;
x_fit=circle_radius*cos(circle_theta)+xc;
y_fit=circle_radius*sin(circle_theta)+yc;
plot(x_fit,y_fit,'r','LineWidth',2);
plot(xc,yc,'bx','LineWidth',2);

x_fit1=circle_radius1*cos(circle_theta)+xc;
y_fit1=circle_radius1*sin(circle_theta)+yc;
plot(x_fit1,y_fit1,'b-','LineWidth',3);

% hold off;

```

```

% pause;
%% Optinio nervo skersmens matavimas
[onn,onm]=size(x_fit1);
for i=1:onm
    ii=round(y_fit1(i));
    jj=round(x_fit1(i));
    ONTaskai(i,1)=double(M(ii,jj));
end
ONvidurys=ONvirsus+(ONapacia-ONvirsus)/2;
i=1;
while y_fit1(i)<ONvidurys && i<onm
    i=i+1;
end
ONvidi=i;

i=ONvidi;
while sum(ONTaskai(i-4:i,1))<400 && i>5
    i=i-1;
end
ONK=i;
i=ONvidi;
while sum(ONTaskai(i:i+4,1))<400 && i<onm-4
    i=i+1;
end
OND=i;
ONDiam=OND-ONK;
scatter(x_fit1(OND),y_fit1(OND),'d','r','LineWidth',3);
scatter(x_fit1(ONK),y_fit1(ONK),'d','r','LineWidth',3);

hold off;

%% Optinio nervo zonos isskyrimas, jo histogramos

Mix=zeros(m*n,1);
for i=ONvirsus:ONapacia;
    Mix(1+(i-1)*n:i*n,1)=M(i,:);
end

xbins = 50:10:250;
[counts,centers] = hist(Mix,xbins);
counts(1,1)=0;

% plot(centers,counts)
% axis([0 255 0 inf])
%
% pause;

```