

Rīgas Tehniskā universitāte

Būvniecības un mašīnzinību fakultāte

Mašīnbūves un biomedicīnas inženierijas institūts

Darbs atbilst uzdevumam un to var iesniegt
aizstāvēšanai

Programmas direktors, vārds, uzvārds
Dr. habil. Phys. Jurijs Dehtjars

2025g. „.....“

Jekaterina Tihomirova

Medicīnas inženierijas un fizikas programmas studente

MAGISTRA DARBS

Cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarība no apgaismojuma spektrālā sastāva

(Tēmas nosaukums)

Tēma apstiprināta ar BMF dekāna 2025 g. “27” maija rīkojumu Nr. D252262BM .

Jekaterina Tihomirova

(Studenta V. U. , paraksts datums)

Maģistra darba vadītājs Edgars Kviesis – Kipge, vadošais pētnieks

(V.U., zin. nos., paraksts, datums)

Normkontrole

Aldis Balodis

(V.U., paraksts, datums)

Darba konsultants

Jānis Spīgulis

(V.U., paraksts, datums)

Šis dokuments ir parakstīts ar drošu elektronisko parakstu un satur laika zīmogu

Rīga 2025. g.

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Būvniecības un mašīnzinību fakultāte
Mašīnbūves un biomedicīnas inženierijas institūts

Medicīnas inženierijas un medicīnas fizikas **studiju programmas** maģistrantes
Jekaterinas Tihomirovas
(Studenta Vārds Uzvārds)

MAĢISTRA DARBA UZDEVUMS

1. Darba tēma: (latviski un angļiski) Cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarība no apgaismojuma spektrālā sastāva

The dependence of human skin optical image quality on the spectral composition of illumination.

2. Darba nodošanas termiņš **2025. g. 22. maijs**

3. Darba pamatdati: (dati, ko izmanto, uzsākot darbu: ierobežojumi, nosacījumi, un tml, ja attiecas)

4. Maģistra darba saturs: (darba sadaļu nosaukumi, kas atspoguļo uzdevumus aprakstītas „Uzdevuma prezentācijā”. Darba struktūra un prasības ir aprakstītas: „Kvalifikācijas darbu sagatavošanas METODISKIE NORĀDĪJUMI “*Medicīnas inženierija un fizika*” programmas studentiem”, Balodis A., RTU, Rīga, 2006.

Katrai sadaļai uzradīt apjomu lpp. un %%. Kopējas lpp. apjomam jābūt ne mazāk, kā 60 lpp.):

Darba struktūra pēc sadaļām	Lpp.	%
Sastādīt darba satura rādītāju		0
Izstrādāt ievadu (problēmas formulējums/”state-of-the-art”, darba mērķa pamatojums).	~1	~1.7
Aprakstīt darba mērķi, uzdevumus, novitāti.	~1	~1.7
Izstrādāt literatūras apskatu par pasaulē izmantojamiem ceļiem, lai pētītu cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva.	~10-20	~17-34
Pamatot un izstrādāt pētījuma gaitu/stratēģiju, lai izpētītu cilvēka ķermeņa optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva.	~2	~3.4
Pamatot, izvēlēties un aprakstīt izmantojamās metodes un aparāturu, lai izpētītu cilvēka ķermeņa optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva.	~5	~11
Pamatot un izvēlēties pētījuma rezultātu nenoteiktību novērtēšanas metodes.	~3	~5
Īstenot pētījumu, lai izpētītu cilvēka ķermeņa optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva, apstrādāt un aprakstīt sasniegtus rezultātus, novērtēt nenoteiktības.	~20-25	~34-42
Izanalizēt cilvēka ķermeņa optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva pētījuma rezultātus.	~7-12	~12-20
Izstrādāt secinājumus par cilvēka ķermeņa optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva. Izstrādāt rekomendācijas par sasniegto rezultātu izmantošanu.	~1-2	~1.7-3.4

Sastādīt izmantotās literatūras un avotu sarakstu	~5	~8
Kopā	≥60	100

Uzdevuma izsniegšanas datums: 2024. g. "28."oktobris

Maģistra darba vadītājs Edgars Kviesis-Kipge, vadošais pētnieks, Dr. phys.
(V.U., amats, grāds, e-paraksts pdf formātā)

Uzdevums saņemts izpildīšanai 2024. g. "8." novembris.

(studenta e-paraksts pdf formātā)

Darba konsultanti (pētījumu metode un aparātūra) Jānis Spīgulis, Dr. habil. phys.

(V.U., grāds, e-paraksts pdf formātā)

Uzdevums ir sastādīts, risinot Latvijas Universitātes Atomfizikas un spektroskopijas institūta ierosinājumu

Saskaņots

Edgars Kviesis- Kipge, vadošais pētnieks, Dr. phys., edgars.kviesis-kipge@lu.lv

UISMF pārstāvja vārds/uzvārds/amats/grāds/tālruna N/e-pasta adrese

LU ASI (Atomfizikas un spektroskopijas institūts), Rīga, Jelgavas iela 3

UISMF nosaukums adrese

Uzdevums apstiprināts, studiju programmas direktors

Jurijs Dehtjars, profesors,

Dr.habil.phys.....

(V.U., amats, grāds e-paraksts pdf formātā)

Šis dokuments ir parakstīts ar drošu elektronisko parakstu un satur laika zīmogu

Anotācija

Maģistra darba mērķis ir izpētīt cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva. Mērķa sasniegšanai tika veikts literatūras apskats par ceļiem, lai pētītu cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva, izstrādāta pētījuma stratēģija, veikts klīniskais pētījums.

Pētījumā izmantots Latvijas Universitātes Atomfizikas un spektroskopijas institūtā izstrādāts prototips, kas nodrošina ādas attēlveidošanu četros spektrālajos apgaismojumos. Pētījumā iesaistīti 20 brīvprātīgie ar dažādiem ādas veidojumiem. Katram brīvprātīgajam novērtēts optisko attēlu kontrasts, asums, spilgtums un vizuālā attēla kvalitāte. Tika veikta rezultātu analīze, lai noteiktu optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva.

Maģistra darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur 9 tabulas, 39 attēlus. Darba apjoms kopā ar pielikumiem ir 98 lappuses, darba izstrādei tika izmantoti 48 literatūras avoti.

Maģistra darba pētījumu finansē Atveseļošanas un noturības mehānisma atbalstīts projekts “Latvijas Universitātes iekšējā un ārējā konsolidācija” (Nr. 5.2.1.1.i.0/2/24/I/CFLA/007).

Abstract

The aim of this master's thesis is to investigate the dependence of the optical image quality of human skin on the spectral composition of illumination. To achieve this goal, a literature review was conducted on the methods used to study this dependency, a research strategy was developed, and a clinical study was carried out.

The study used a prototype developed at the Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, University of Latvia, which enables skin imaging under four different spectral illuminations. A total of 20 volunteers with various skin lesions participated in the research. For each participant, optical image parameters such as contrast, sharpness, brightness and visual quality were evaluated. The results were analysed to determine how image quality depends on the spectral characteristics of illumination.

The thesis is written in Latvian and includes 9 tables and 39 figures. The total length of the work, including appendix, is 98 pages. A total of 48 literature sources were used during the development of the thesis.

The Master thesis research is financed by the Recovery and Resilience Facility project "Internal and External Consolidation of the University of Latvia" (No.5.2.1.1.i.0/2/24/I/CFLA/007).

Аннотация

Целью данной магистерской работы является исследование зависимости качества оптического изображения кожи человеческого тела от спектрального состава освещения. Для достижения поставленной цели был проведен обзор литературы по методам изучения этой зависимости, разработана стратегия исследования и выполнено клиническое исследование.

В работе использован прототип, разработанный в Институте атомной физики и спектроскопии Латвийского университета, обеспечивающий получение изображений кожи при четырех различных спектральных освещениях. В исследовании приняли участие 20 добровольцев с различными кожными образованиями. Для каждого участника были оценены параметры качества изображения: контраст, резкость, яркость и визуальная четкость. Проведен анализ полученных результатов для определения зависимости качества изображения от спектральных характеристик освещения.

Магистерская работа написана на латышском языке, содержит 9 таблиц и 39 рисунка. Общий объем работы, включая приложения, составляет 98 страниц. В процессе подготовки использовано 48 литературных источников.

Магистерское исследование финансируется в рамках проекта Механизма восстановления и устойчивости “Внутренняя и внешняя консолидация Латвийского университета” (No.5.2.1.1.i.0/2/24/I/CFLA/007).

Saturs

IEVADS	10
1. DARBA MĒRĶIS, UZDEVUMI, NOVITĀTE	12
2. LITERATŪRAS APSKATS PAR PASAULĒ IZMANTOJAMIEM CEĻIEM, LAI PĒTĪTU CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA	13
2.1. Ādas uzbūve un funkcijas	13
2.2. Ādas optiskās īpašības	15
2.3. Diagnostikas metodes dermatoloģijā	17
2.4. Spektrālās attēlveidošanas metodes	20
2.4.1. Hiperspektrālā attēlveidošana	20
2.4.2. Multispektrālā attēlveidošana	21
2.4.3. Spektrālīniju attēlveidošana	23
2.5. Ādas attēlveidošanas sistēmas un to salīdzinājums	23
2.6. Ļaundabīgie ādas audzēji	26
2.7. Optisko attēlu kvalitātes raksturlielumi	28
3. PĒTĪJUMA STRATĒGIJA, LAI IZPĒTĪTU CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA ..	29
4. IZMANTOJAMO METOŽU UN APARATŪRAS PAMATOJUMS, IZVĒLE UN APRAKSTS, LAI IZPĒTĪTU CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA	31
4.1. Klīniskā pētījuma iekārtas prototips	31
4.2. Kamera (fotoaparāts) cilvēka ķermeņa ādas attēlu uzņemšanai	33
4.3. Klīnisko pētījumu telpa.....	34
4.4. Cilvēka ķermeņa ādas optisko attēlu apstrādes programmatūra	35
4.5. Optisko attēlu kvalitātes aprēķināmie parametri.....	37
5. PĒTĪJUMA REZULTĀTU NENOTEIKTĪBU NOVĒRTĒŠANAS METODES	39
6. PĒTĪJUMA, LAI IZPĒTĪTU CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA ĪSTENOŠANA, SASNIEGTO REZULTĀTU APSTRĀDĀŠANA UN APRAKSTĪŠANA .	41
6.1. Klīniskā pētījuma īstenošanas rezultāti.....	41
6.2. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 1 (bazalioma)	41
6.3. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 2	43
6.3.1. Brīvprātīgā Nr 2 pirmais veidojums (melanoma)	43
6.3.2. Brīvprātīgā Nr 2 otrais veidojums (nēvuss)	44

6.4.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 3 (bazalioma)	45
6.5.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 4 (bazalioma)	46
6.6.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 5	47
6.6.1.	Pirmais veidojums (bazalioma).....	47
6.6.2.	Otrais veidojums (melanoma).....	48
6.7.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 6	48
6.7.1.	Pirmais veidojums (bazalioma).....	48
6.7.2.	Otrais veidojums (bazalioma).....	49
6.8.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 7 (bazalioma ar uzčūlojumu)	49
6.9.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 8 (bazalioma)	50
6.10.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 9 (lentigo maligna).....	51
6.11.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 10 (melanoma).....	52
6.12.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 11 (nēvuss).....	53
6.13.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 12 (bazalioma)	54
6.14.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 13	54
6.14.1.	Pirmais veidojums (bazalioma).....	54
6.14.2.	Otrais veidojums (nēvuss).....	55
6.15.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 14 (bazalioma)	55
6.16.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 15 (bazalioma)	56
6.17.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 16 (bazalioma)	56
6.18.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 17 (nēvuss).....	57
6.19.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 18 (bazalioma)	58
6.20.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 19 (bazalioma)	58
6.21.	Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 20	59
6.21.1.	Pirmais veidojums (nēvuss)	59
6.21.2.	Otrs veidojums (bazalioma).....	59
7.	CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBAS NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA PĒTĪJUMA REZULTĀTU ANALĪZE	60
7.1.	Cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kontrasta atkarība no apgaismojuma spektrālā sastāva	60
7.2.	Cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla asuma atkarība no apgaismojuma spektrālā sastāva	64
7.3.	Vizuālā attēlu novērtēšana	66
SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS PAR CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA ..		70

PUBLICITĀTE.....	71
LITERATŪRAS AVOTU SARAKSTS	72
1.pielikums.....	78
2.pielikums.....	79
3.pielikums.....	80
4.pielikums.....	81
5.pielikums.....	82
6.pielikums.....	83
7.pielikums.....	84
8.pielikums.....	85
9.pielikums.....	86
10.pielikums.....	87
11.pielikums.....	88
12.pielikums.....	89
13.pielikums.....	90
14.pielikums.....	91
15.pielikums.....	96
16.pielikums.....	97

IEVADS

Melanomai ir visaugstākais mirstības līmenis no visām ādas vēža formām, katru gadu tiek ziņots par aptuveni 330 000 saslimšanas gadījumiem un 55 000 nāves gadījumiem [1]. Agrīnā melanomas un citu ādas audzēju atklāšana ir svarīgākais cilvēka izdzīvošanas faktors. Atklājot to agrīnā stadijā, ir iespējams izmantot neinvazīvās vai mazāk invazīvās ārstēšanas metodes, kā arī nodrošināt ievērojami labāku izdzīvošanas prognozi pacientam [2]. Ādas vēža diagnostikai ir nepieciešama pietiekama speciālistu pieredze un piemērota aprīkojuma izmantošana, lai nodrošinātu augstu diagnostikas veikšanas precizitāti [3]. Vizuālā analīze, ādas stāvokļu diagnostika un monitorings spēlē galveno lomu dermatoloģijā, īpaši tādu ļaundabīgo ādas bojājumu kā melanoma agrīnā atklāšanā [4].

Jaunie tehnoloģiju sasniegumi ir pilnveidojuši ādas stāvokļu vizualizācijas analīzi un diagnostiku, ļaujot veikt precīzāku, efektīvāku un neinvazīvu cilvēka ādas diagnostiku [5]. Bet, pat ņemot vērā jaunos tehnoloģijas sasniegumus, diagnostikas izaicinājumi saglabājas. Viens no galveniem izaicinājumiem ir diagnostikas precizitāte, jo precīza dermatoskopija un ādas attēlu interpretācija prasa speciālistu apmācību un pieredzi, šobrīd dermatoloģijā izmanto aprīkojumu, kas nodrošina ādas veidojumu monitorēšanu, bet ne diagnostiku.

Pēdējā laikā pilna ķermeņa attēlveidošanas sistēmas ir piesaistījušas uzmanību dermatoloģijā kā efektīvi rīki melanomas atklāšanai un uzraudzībai [6]. Atšķirībā no klasiskajām izmeklēšanām, kas fokusējas uz vienu bojājumu, kuru skatās ar dermatoskopu vai krāsu kameru, šādas sistēmas iegūst vairākus augstas izšķirtspējas attēlus no visa ķermeņa – vai nu no visām pusēm vienlaikus, vai arī no vienas puses, mainot pacienta ķermeņa stāvokli. Kopā ar iespēju noteikt vairākus ādas bojājumus vienā procedūrā, tas ļauj salīdzināt attēlus, kas iegūti dažādos laika periodos, lai identificētu augošos veidojumus – potenciālos ādas audzējus. Dažas modernas un attiecīgi dārgas visa ķermeņa attēlveidošanas sistēmas ir pieejamas komerciāli. Piemēram, *Vectra 3D* sistēma no *Canfield Scientific* [7] momentāli uzņem visu ādas virsmu makro kvalitātes izšķirtspējā, izmantojot 46 stereovīzijas punktus. *ATBM Master 4*. paaudzes sistēma no *Foto Finder Systems* sastāv no vienas augstas izšķirtspējas kameras, kas savienota ar gaismas avotu un rezultātā visa ķermeņa attēli tiek iegūti secīgi, mainot pacienta ķermeņa pozīcijas [8].

Pieejamas sistēmas izmanto platjoslas baltas gaismas avotus, kas nodrošina vienmērīgu ķermeņa apgaismojumu, tomēr, uzņemot krāsu fotoattēlus zem šāda apgaismojuma, trūkst iespējas analizēt ādas struktūru spektrālās īpašības, lai veiktu padziļinātu diagnostiku, tie

nodrošina tikai cilvēka ķermeņa ādas veidojumu un to izmaiņu monitorēšanu konkrētā laikā intervālā, veicot atkārtoto visa ķermeņa attēlu uzņemšanu un salīdzinot jauniegūtos cilvēka ķermeņa ādas attēlus ar iepriekšējiem un analizējot atšķirības.

1. DARBA MĒRĶIS, UZDEVUMI, NOVITĀTE

Darba mērķis ir izpētīt kā un kāpēc cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitāte ir atkarīga no apgaismojuma spektrālā sastāva.

Darba uzdevumi:

1. Izstrādāt literatūras apskatu par pasaulē izmantojamiem ceļiem, lai pētītu cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva;
2. Pamatot un izstrādāt pētījuma gaitu/stratēģiju, lai izpētītu cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva;
3. Pamatot un aprakstīt izmantojamās metodes un aparāturu, lai izpētītu cilvēka ķermeņa ādas attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva;
4. Pamatot un izvēlēties pētījuma rezultātu nenoteiktības novērtēšanas metodes;
5. Īstenot pētījumu, lai izpētītu ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva, apstrādāt un aprakstīt sasniegtus rezultātus, novērtēt nenoteiktības;
6. Izanalizēt cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva. Izstrādāt secinājumus un rekomendācijas par sasniegto rezultātu izmantošanu.

Darba novitāte – pirmo reizi tiks izpētīts kā un kāpēc cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitāte ir atkarīga no apgaismojuma spektrālā sastāva.

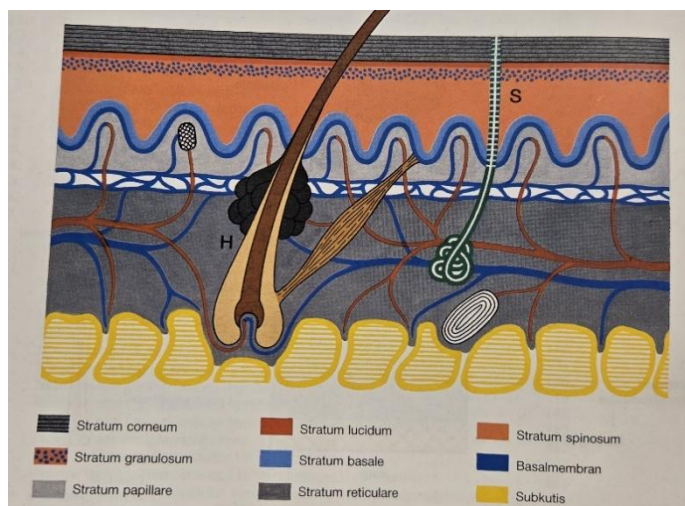
2. LITERATŪRAS APSKATS PAR PASAULĒ IZMANTOJAMIEM CEĻIEM, LAI PĒTĪTU CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA

2.1. Ādas uzbūve un funkcijas

Āda ir viens no ķermeņa lielākajiem orgāniem, tās masa ir 4-10 kg diapazonā un laukums ap 2 m². Ādas biezums ir atkarīgs no ķermeņa zonas [9].

Izšķir trīs ādas slāņus: epidermu, dermu un zemādu jeb hipodermu (2.1. att.). Galvenie struktūras elementi ādā ir matu saknes, sviedru un tauku dziedzeri, asinsvadi un nervi. Neatkarīgi no tā, kā ādu iedala slāņos, šie slāņi nedarbojas atsevišķi, bet ir cieši saistīti viens ar otru. Patoloģiskie procesi var būt kā vienā slānī, tā arī vairākos [9].

Epiderma, jeb virsāda ir caurspīdīgs ārējais ādas slānis. Biezums vidēji ir 0,1 mm, sākot no 0,05 mm plākstīņos un līdz 1,5 mm plaukstās un pēdās. Slānis sastāv no epitēlija šūnām jeb keratinocītiem. Daudzkārtainais plakans epitēlijs, kura pamata virsma ir krokota un palīdz saturēt kopā dermu un epidermu [10]. Epidermā atrodas melanocīti, kas ražo melanīnu – pigmentu, kas nosaka ādas krāsu un pasargā no ultravioletā starojuma [11]. Melanocītu skaits visiem cilvēkiem ir līdzīgs, bet ādas krāsa ir atkarīga no melanīna graudiņu lieluma un skaita, kā arī no šo graudiņu izvietojuma pārējās ādas šūnās [9].



2.1.att. Cilvēka ādas uzbūve [10]

Epidermu iedala četros slāņos:

- Bazālais slānis (*stratum basale*), jeb pamatslānis, zemākais epidermas slānis, šajā slānī atrodas melanocīti, kas ražo melanīnu;
- Dzeloņains slānis (*stratum spinosum*) – šajā slānī jaunās, tikko radušās epidermas šūnas attīstās, aug un noveco, zaudē kodolus un citoplazmas aktīvās sastāvdaļas un pamazām pāriet nākamajā graudainajā slānī (*stratum granulosum*);
- Graudainais slānis (*stratum granulosum*);
- Raga slānis (*stratum corneum*) – atmirušas, plakanas šūnas keratinocīti, kas pildītas ar ragvielu (jeb keratīnu), aizsargā ādu no apkārtējās vides [10].

Derma jeb īstāda ir blīvi saistaudi, kas satur asinsvadus, limfvadus, nervus, receptorus, matiņus, tauku un sviedru dziedzerus [12]. Dermas biezums ir 0,5 - 5,0 mm diapazonā. Derma satur olbaltumvielas kolagēnu un elastīnu, kas padara ādu stingru un elastīgu. Dermu var iedalīt divos slāņos:

- Papilārais slānis – augšējā daļa, kas satur vaļīgus saistaudus, kapilārus un nervu galus;
- Retikulārais slānis – apakšējā daļa ar blīviem saistaudiem, kolagēna un elastīna šķiedrām, kas nodrošina ādas izturību un elastību [12].

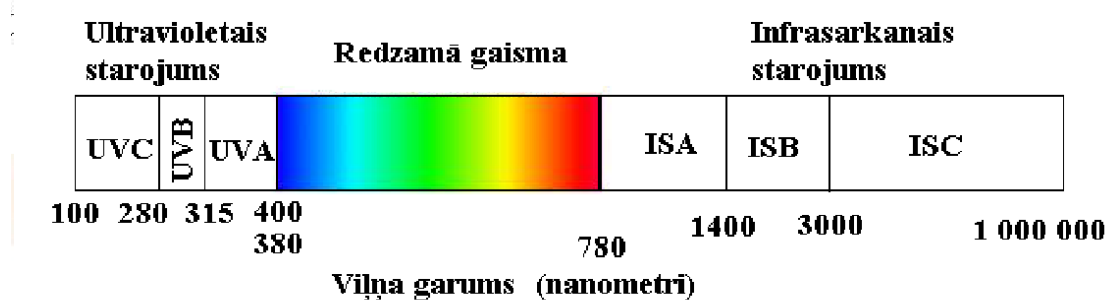
Hipoderma jeb zemādas tauku slānis atrodas starp dermu un saistaudiem, kas sedz muskuļus. Šis slānis izolē ķermeni no aukstuma, sargā muskuļus no ievainojumiem un ir barības vielu rezervuārs [11].

Āda ir orgāns, kas veic vairākas funkcijas cilvēka organismā. Pamatfunkcijas ir:

- Barjeras funkcija – ķermeņa iekšējās vides atdalīšana no ārējās, pasargāšana no ultravioletā starojuma, ķīmiskām vielām, mikroorganismiem, aizsardzība no dehidratācijas;
- Imūnoloģiskā funkcija – ādā atrodas imūnšūnas, kas pasargā no vīrusiem un baktērijām;
- Termoregulācijas funkcija – nodrošina zemādas tauku slānis, strādājot kā termoizolācija;
- Jušanas funkcija – temperatūras, spiediena, sāpju jušana, kā sensors [11].

2.2. Ādas optiskās īpašības

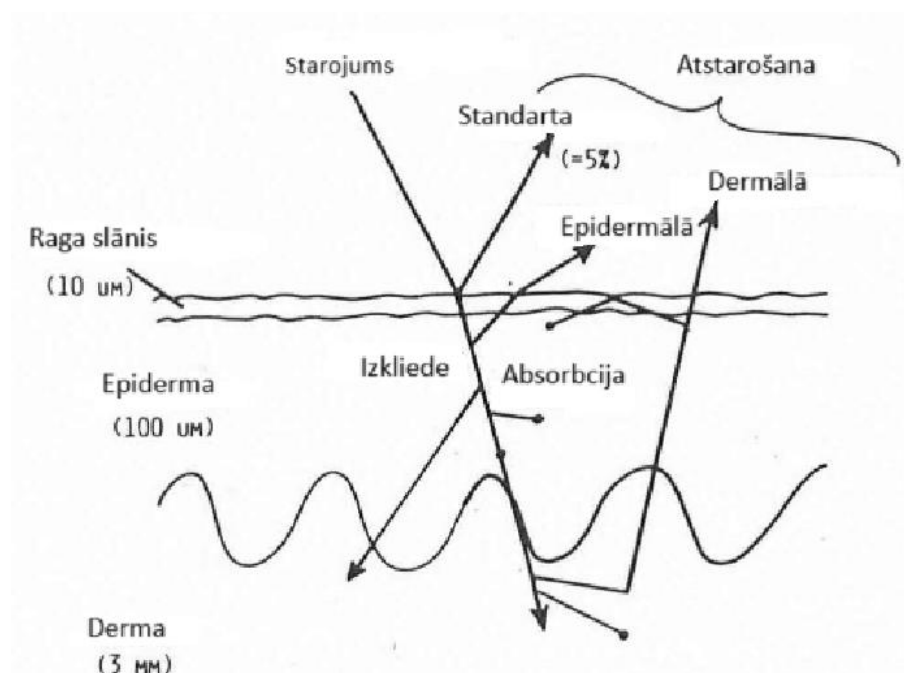
Optiskais starojums ir elektromagnētiskā starojuma veids, kura viļņa garums atrodās redzamās gaismas, infrasarkanā un ultravioletā starojuma diapazonā (2.2. att). Tas ir starojums ar viļņa garumu no aptuveni 100 nm (ultravioletais starojums) līdz 1 mm (infrasarkanā starojuma augšējā robeža) [13].



2.2. att. Optiskā starojuma skala [13]

Optiskais starojums ietekmē cilvēka ādu, mijiedarbībā gaisma var tikt tieši atstarota no ādas virsmas vai iespiesties dziļāk ādas audos, kurā var tikt pilnīgi absorbēta vai izkliedes rezultātā izstarota ārpus ādas audiem (2.3. att.) [14].

Ādas optiskās īpašības ietver tās spēju absorbēt, atstarot, izkliedēt un caurlaist starojumu, šīs īpašības ir atkarīgas no starojuma viļņa garuma.



2.3. att. Optiskā ceļa ādā shēmatiskā diagramma [14]

Āda spēj absorbēt starojumu dažādos viļņa garumos, īpaši ultravioletos starus, kas var izraisīt ādas bojājumus un priekšlaicīgu novecošanos. Absorbcijas koeficients mainās atkarībā no ādas struktūras un pigmentācijas. Galvenais pigments, kas absorbē ultravioletos starus un aizsargā dziļākos ādas slāņus, ir melanīns. Tomēr, ja ultravioletais starojums ir pārāk intensīvs, tas var izraisīt ādas bojājumus [14].

Ādas virsma atstaro daļu no starojuma. Šis atstarojums ir atkarīgs no dažādiem faktoriem, tostarp ādas krāsas un tekstūras. Tumšākā āda atstaro mazāk starojuma nekā gaišā āda [14].

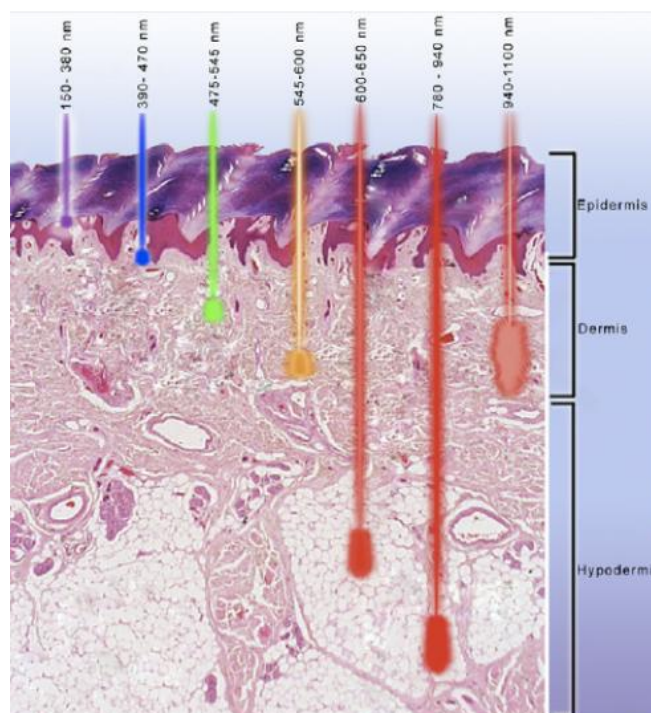
Izkliede ir process, kad starojums tiek novirzīts no sākotnēja ceļa, mijiedarbojoties ar ādu. Āda izklienē gaismu un šī izkliede ir atkarīga no ādas struktūras un ūdens satura. Ādas struktūra un ūdens sastāvs nosaka, cik daudz starojuma tiek izklienēts [14].

Caurlaidība attiecas uz spēju daļai starojuma iekļūt dziļākajos ādas slāņos. Āda ir daļēji caurlaidīga dažādiem starojumiem, caurlaidības pakāpe ir atkarīga no starojuma viļņa garuma. Infrasarkanā starojuma viļņa garums var iekļūt dziļākajos ādas slāņos un ir noderīgs dažādās medicīniskās un diagnostiskās procedūrās, piemēram, fototerapijā un audu attēlveidošanā [14].

Optiskais dziļums ir svarīgs parametrs, kas nosaka, cik dziļi starojums var iekļūt ādā. Caurlaidības un absorbcijas koeficienti ietekmē, kā āda mijiedarbojas ar starojumu [15].

Ādas krāsu nosaka absorbcijas un izklienēšanas īpašības, gaismu absorbē ūdens molekulas, proteīni un ādas pigmenti jeb hromofori. Galvenie hromofori cilvēka ādā ir melanīns, oksihemoglobīns un deoksihemoglobīns. Melanīns absorbē UV starojumu, bet absorbcijas koeficients samazinās, pieaugot viļņu garumam. Oksihemoglobīna absorbcijas pīķi ir pie 280 nm, 420 nm, 540 nm un 580 nm, bet pie 600 nm tā absorbcija strauji samazinās. Deoksihemoglobīna absorbcijas maksimumi ir pie 430 nm un 555 nm. Ķermeņa tauki jeb lipīdi labi izklienē gaismu, ūdens vāji absorbē gaismu redzamajā spektra daļā, bet spēcīgi absorbē to ultravioletajā un tuvajā infrasarkanajā spektra daļā [30].

2.4. att. ir attēlota dažādu elektromagnētiskā starojuma viļņu garumu iekļūšanas dziļums cilvēka ādā – epidermā, dermā un hipodermā.



2.4. att. Gaismas viļņu garumu iekļūšana cilvēka ādā [48]

Īsāka viļņa garuma starojums galvenokārt iedarbojas uz ādas virskārtu, bet garākā viļņa garuma gaisma spēj sasniegt dziļākos audu slāņus. Ultravioletais starojums (150 – 380 nm) praktiski netiek cauri epidermai, ar iekļūšanas dziļumu mazāk par 0,1 mm. Zilā gaisma (390 – 470 nm) iekļūst aptuveni 0,3 mm dziļi, kas atbilst epidermas apakšslānim. Zaļā gaisma (475 – 545 nm) sasniedz 0,3 – 0,5 mm dziļumu, nokļūst līdz dermai. Dzeltenā gaisma (545 – 600 nm) iekļūst aptuveni 0,5 – 1 mm dziļumā. Sarkanā gaisma (600 – 650 nm) sasniedz 1 – 2 mm dziļumu, dermā. Tuvu infrasarkanā (700 – 950 nm) spēj iekļūt 2 – 3 mm dziļi hipodermā.

2.3. Diagnostikas metodes dermatoloģijā

Agrīnā ādas vēža diagnosticēšana ir kritiska, jo tā tieši ietekmē pacienta izdzīvošanas iespējas. Ar modernu tehnoloģiju attīstību tiek radītas jaunas iespējas precīzākai un efektīvākai ādas stāvokļa diagnosticēšanai. Tādas tehnoloģijas kā mākslīgais intelekts un digitālā dermatoskopija ir ievērojami uzlabojušas diagnostikas metodes, taču tie joprojām ir ar tehnoloģiskām kļūdām, kas var ietekmēt attēlu kvalitāti un datu drošību [5].

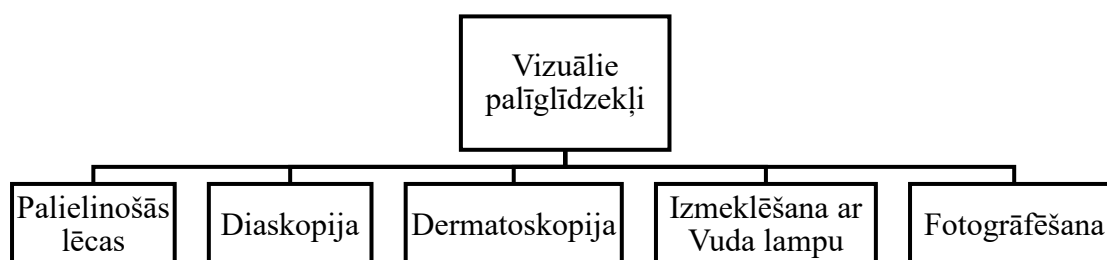
Līdz 2022.gadam ir novērots ievērojams pētījumu skaita pieaugums, īpaši saistībā ar mākslīgā intelekta un digitālās attēlveidošanas ieviešanu. Tāpat ir novērota stabila pieaugoša tendence, kas norāda uz vispārēju interesi un uzmanību dermatoskopijas un ādas vēža diagnostikas jomā. Pandēmijas laikā pētījumu skaits samazinājās, taču kopumā interesējošie tehnoloģiskie jauninājumi, piemēram, teledermatoloģija, pierādīja savu vērtību.

Pētījumi parāda, ka dermatoskopija ievērojami uzlabo diagnostikas precizitāti melanomas un citu ādas vēža veidu identificēšanā. Dziļās mācīšanās algoritmi ir parādījuši potenciālu, lai automātiski klasificētu ādas vēzi, sasniedzot dermatologu līmeņa precizitāti, kā arī piedāvājot iespēju samazināt dermatoloģijas atkarību no speciālistu individuālās pieredzes [16].

Izanalizētie dati liecina par konstantu pētījumu skaita pieaugumu, īpaši pēc 2010.gada, kad sāka izmantot mākslīgā intelekta un mašīnmācīšanas algoritmus dermatoloģijas jomā. 2018.gadā bija novērojama strauja 3D attēlveidošanas sistēmu un digitālās attēlveidošanas tehnoloģiju ieviešana, kas izraisīja pēkšņu pētījumu publikāciju skaita pieaugumu. Īpaši jāatzīmē laiks no 2020. līdz 2023. gadam, kad teledermatoloģijas un attālinātas diagnostikas rīki kļuva īpaši svarīgi, reaģējot uz globālo pandēmiju [17], [18].

Līdz šim ir bijušas daudzas inovācijas, kas ir uzlabojušas ādas vēža atklāšanu. Arī pētījumi rāda, ka mākslīgais intelekts spēj pārspēt dermatologus melanomas atklāšanā, piedāvājot automātiskās diagnosticēšanas iespējas ar augstu precizitāti. Tomēr ir arī ievērojamas grūtības ar mākslīgā intelekta modeļiem, jo tie joprojām ir atkarīgi no lielām un pilnīgi marķētām datu kopām, kā arī ir jārisina sistēmu un attēlu kvalitātes nepilnības [17].

Ir vairāki vizuālo palīg līdzekļu veidi, ar kuriem izmeklē ādu dermatoloģijā (2.5. att.). Palielinošās lēcas nodrošina cilvēka ādas virsmas palielināšanu. Izmantojot lēcu, ar palielinājumu no 2 līdz 10 reizēm (var būt ar iebūvētu gaismas avotu), izdodas labāk vizualizēt ādu. Pārklājot to ar eļļu, var uzlabot redzamību cauri ādas raga slānim [19].

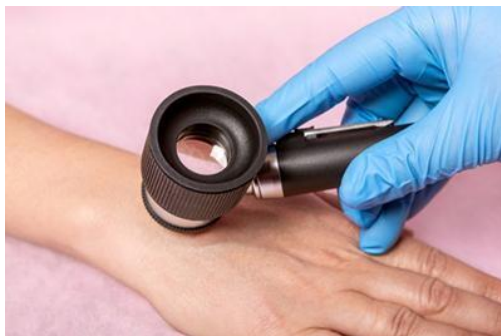


2.5. att. Vizuālo palīg līdzekļu iedalījums [19]

Diaskopijas laikā caurspīdīgs stikliņš viegli tiek piespiests pie ādas. Diaskopējot var noteikt eritēmu un eritrocītu ekstravazāciju. Diaskopijas metodi izmanto papulu un mezglu novērtēšanai. Diaskopija palīdz atklāt ādas krāsas maiņas, kas var būt saistītas ar asinsvadu

paplašināšanos, asiņošanu vai citām patoloģijām. Piemēram, sarkanās zonas var liecināt par iekaisumu, savukārt zilās vai purpursarkanās zonas var liecināt par hematomu [19].

Dermatoskopija ir ādas virsmas mikroskopija – neinvazīvā metode, kurā tiek izmantots dermatoskops, kas sastāv no palielinošām lēcām un gaismas avota (2.6. att.). Šķidruma uzklāšana saskares vietā starp epidermas virsmu un iekārtas stiklu novērš gaismas atstarošanu, nodrošinot dermas struktūras vizualizēšanu [19].



2.6. att. Izmeklējums ar dermatoskopu [20]

Izmeklēšanu ar Vuda lampu veic tumšā telpā, ar lampas 10 cm attālumu no ādas (2.7. att.). Vuda lampa izstaro ultravioletos-A starus ar viļņu garumu starp 320 nm un 400 nm. Vuda lampas starojumu intensīvi absorbē melanīns, radot vizuāli tumšākus laukumus attiecībā pret apkārtējiem audiem [19].



2.7. att. Vuda lampas izmeklējums [21]

Fotografēšana ir klīniskās ainas fotodokumentēšana, izmantojot fotokameru. Metode ir nozīmīga ādas veidojumu dinamiskā novērošanā [19]. Dermatoloģiski to sauc par visa ķermeņa veidojumu kartēšanu, rezultātā cilvēka ādas veidojumus var novērot un konstatēt izmaiņu esamību, ja tādi parādās.

2.4. Spektrālās attēlveidošanas metodes

2.4.1. Hiperspektrālā attēlveidošana

Hiperspektrālā attēlveidošana ir tehnoloģija, kas apvieno attēlveidošanas metodes ar spektrālo analīzi, ļaujot iegūt detalizētu informāciju gan par objekta telpisko struktūru, gan par spektrālo sastāvu. Atšķirībā no tradicionālajiem attēliem, kur katrs pikselis satur informāciju par trīs krāsām (R - sarkans, G – zaļš, B - zils), hiperspektrālā attēlveidošana reģistrē attēlus vairākās šaurās spektrālajās joslās, katrs attēla pikselis ļauj identificēt materiālu īpašības un atšķirt smalkas optiskās atšķirības [22], [23]. Uzņemšanas laikā iegūst trīsdimensiju jeb hiperspektrālo kubu. Četras metodes, ko biežāk lieto hiperspektrālo attēlu iegūšanai ir punkta skenēšana, līnijas skenēšana, viļņa garuma skenēšana un momentuzņēmums [27].

Hiperspektrālās attēlveidošanas pamatā ir specializētu sensoru izmantošana, kas spēj uztvert gaismu plašā viļņu garumu diapazonā – no ultravioleta līdz redzamajai un infrasarkanajai daļai [22]. Gaismas sadalīšanai parasti izmanto difrakcijas režģus vai interferometriskas metodes, kas ļauj iegūt ļoti šauras spektrālās joslas ar augstu izšķirtspēju [24]. Šī metode ļauj ne tikai izveidot detalizētus attēlus, bet arī analizēt, kā dažādi materiāli vai bioloģiskās struktūras reaģē uz noteiktiem viļņu garumiem, piemēram, kā ādas audi absorbē vai izstaro gaismu [25].

Hiperspektrālo attēlveidošanu plaši pielieto vairākās nozarēs:

- Medicīnā un bioloģijā – hiperspektrālie attēli tiek izmantoti, lai analizētu ādas struktūru un identificētu agrīnas patoloģiskās izmaiņas, tādus kā audzēji vai citas ādas anomālijas [26];
- Vides monitoringā tehnoloģiju izmanto, lai novērtētu augu veselību, identificētu piesārņojuma avotus un analizētu ūdens kvalitāti. Hiperspektrālie dati sniedz iespēju precīzi noteikt bioloģisko procesu norisi un vides stāvokli [26];
- Pārtikas nozarē ar hiperspektrālo attēlveidošanu tiek veikta pārtikas produktu kvalitātes kontrole, piemēram, augļu nogatavināšanas bojājumu vai piesārņojumu noteikšanai. Šī tehnoloģija ļauj ātri un efektīvi novērtēt produkta kvalitāti [23];
- Materiālu pārbaudē hiperspektrālie attēli palīdz identificēt materiālu sastāvu, noteikt defektus ražošanas procesos un optimizēt tehnoloģiskos parametrus, nodrošinot augstu ražošanas kvalitāti [24].

Hiperspektrālā attēlveidošana tiek izmantota dažādās nozarēs, jo var nodrošināt gan telpisko, gan spektrālo informāciju par objektiem. Hiperspektrālo attēlveidošanu pielieto arī

klīniskajā vidē. Rezultāti liecina, ka šī metode ir īpaši noderīga, lai atklātu ādas slimību agrīnās pazīmes.

2.4.2. Multispektrālā attēlveidošana

Multispektrālā attēlveidošana ir attēlveidošanas tehnoloģija, kas reģistrē attēlus vairākās atdalītās spektrālajās joslās, parasti aptverot dažus svarīgākos viļņu garumus (piemēram, ultravioletā, redzamā un infrasarkanā spektrā). Atšķirībā no hiperspektrālās attēlveidošanas, kur tiek iegūti dati simtiem šauru spektrālo joslu veidā, multispektrālā attēlveidošana nodrošina ierobežotāku, taču bieži pietiekami informatīvu datu kopu, kas ir vieglāk savienojama ar ātru datu apstrādi un analīzi [22], [23].

Multispektrālās attēlveidošanas sistēmas darbojas, izmantojot specifiskus filtrus vai sensorus, kas spēj atlasīt noteiktus viļņu garumus, vai arī nodrošinot apgaismojumu šaurās spektru joslās. Šādi attēli sniedz informāciju par objekta atstarošanas īpašībām konkrētās spektrālajās joslās, šī pieeja ļauj atšķirt dažādus materiālus un bioloģiskās struktūras, jo tie bieži nodrošina raksturīgus atstarošanas modeļus konkrētos spektrālajos apgaismojuma diapazonos [22].

Multispektrālo attēlveidošanu pielieto dažādās nozarēs:

- Medicīnā multispektrālā attēlveidošana tiek izmantota, lai analizētu ādas un citu audu stāvokli, nodrošinot papildus informāciju par audu veselību un iespējamo patoloģiju esamību. Piemēram, šī metode var palīdzēt atšķirt veselus un bojātus audus, kas ir svarīgi diagnostikas procesā [22], [29];
- Vides monitoringā un kartēšanā izmantojot dažādas spektrālās joslas, var identificēt augu veselību, augsnes mitruma saturu, ūdens kvalitāti un citas vides īpašības. Šī tehnoloģija ir īpaši noderīga lauksaimniecībā un mežsaimniecībā [23], [28];
- Pārtikas nozarē multispektrālā tehnoloģija ļauj ātri noteikt pārtikas produktu kvalitāti, atklāt bojājumus vai piesārņojuma pazīmes, kas nodrošina efektīvu kvalitātes kontroli un uzraudzību [28];
- Materiālu analīzē multispektrālā attēlveidošana tiek izmantota, lai pārbaudītu materiālu īpašības, identificētu defektus un optimizētu ražošanas procesus [23].

Hiperspektrāla attēlveidošana nodrošina detalizētu informāciju, kas ir nenovērtējama pētījumos un diagnostikas metodēs, kur nepieciešama precīza ādas audu analīze, tomēr tā lielā datu apjoma apstrādes un augsto izmaksu dēļ ir ierobežota ikdienas pielietojumiem.

Multispektrālā attēlveidošana ir ātrāks un efektīvāks risinājums, kas ļauj regulāri monitorēt ādas stāvokli un sniegt nepieciešamo informāciju reāllaikā, tomēr ar mazāku spektrālo detalizāciju. Tas padara multispektrālo metodi piemērotu plašākai ikdienas dermatoloģijas praksei, it īpaši, ja tiek veikta regulārā ādas stāvokļa monitorēšana un diagnostika.

Pēdējo piecu gadu laikā ir ievērojami attīstījusies visa ķermeņa ādas attēlveidošanas tehnoloģija, ko virza gan attēlveidošanas sistēmu, gan mākslīgā intelekta attīstība. Līdz 2024. gadam šie uzlabojumi ir palielinājuši diagnostikas precizitāti un vienkāršojuši ādas stāvokļa monitoringu, it īpaši attiecībā uz ādas vēzi.

Galvenā inovācija ir 3D pilna ķermeņa fotogrāfijas izstrāde. Šis paņēmieni nodrošina detalizētus, augstas izšķirtspējas attēlus no visas ādas virsmas, ļaujot sekot izmaiņām laika gaitā. Mākslīga intelekta integrācija, it īpaši konvolūcijas neironu tīklu (*CNN*) izmantošana, nodrošina automātisku un precīzu bojājumu atklāšanu, uzlabojot agrīnu diagnostiku un pacientu izdzīvošanas iespējas. Uzlaboti algoritmi ir pilnveidojuši attēlu analīzi, ļaujot ar augsto specifiskumu un jūtīgumu atpazīt un klasificēt ādas neregularitātes [31], [32].

Piemērs tādai tehnoloģijai ir *VECTRA WB360* sistēma, kas izmanto 46 sinhronizētas kameras, lai izveidotu visaptverošus 3D modeļus no ādas. Šie ādas modeļi ļauj precīzi salīdzināt vairākus ādas veidojumu monitoringu rezultātus, sniedzot iespēju dermatologiem atklāt par nelielas izmaiņas, kas var norādīt par melanomas progresēšanu.

Ātra visa ķermeņa multispektrālā optiskā attēlveidošana ir novedusi pie sistēmu izstrādes, kas spēj reālā laikā veidot augstas izšķirtspējas 3D attēlus pilnīgai ādas uzraudzībai. Šīs sistēmas parasti sastāv no vismaz divām kameru grupām: viena grupa ir jūtīga pret ultravioletu gaismu, bet otra – pret redzamās gaismas viļņu garumiem. Katrā grupā ir iekļautas apakšgrupas, kameras ar dažādiem fokusa attālumiem, lai iegūtu detalizētus attēlus dažādās dziļuma zonās.

Visa ķermeņa multispektrālā optiskā attēlveidošanas sistēma ādas uzraudzībai un fotogrāfijai izmanto rotējošo konstrukciju, kurā atrodas kameru komplekti un gaismas avoti. Šī rotējamā vienība tiek vadīta ar programmatūru, kas spēj kontrolēt un noteikt rotācijas punktus, nodrošinot atkārtotamību, uzņemot attēlus pa noteikto rotācijas ceļu. Šāda konfigurācija uzlabo fokusa dziļumu un attēla kvalitāti, veicinot efektīvāku ādas stāvokļa monitoringu [33].

Kottner ar līdzautoriem ir detalizēti aprakstījuši inovatīvu multispektrālās attēlveidošanas pielietojumu tiesu medicīnā, kurā pilna ķermeņa multispektrālā attēlveidošana tiek integrēta ar 3D skenēšanas tehnoloģiju. Šī daudzkameru sistēma sastāv no četriem īpaši

modificētām digitālajām kamerām, papildinātām ar ultravioleto un tuvu infrasarkanā gaismas avotu, kā arī papildus objektīvu filtriem, kas uzlabo attēlu uzņemšanu. Visa ķermeņa dokumentēšana tiek veikta kopā ar medicīnisko datortomogrāfijas skeneri, kas automatizē attēlveidošanas procesu, palielinot tiesu izmeklējumu efektivitāti [34].

2.4.3. Spektrālīniju attēlveidošana

Spektrālīniju attēlveidošana ir speciālizēta optisko attēlu uzņemšanas tehnoloģija, kas koncentrējas uz konkrētu, šauru viļņu garumu joslu reģistrēšanu. Šīs joslas parasti atbilst specifiskiem izstarojuma vai absorbcijas procesiem, kas saistīti ar noteiktu elementu vai savienojumu klātbūtni. Šāda pieeja ļauj iegūt detalizētu informāciju par materiālu sastāvu un optiskajām īpašībām, kas ir būtiska, lai identificētu pat ļoti smalkas izmaiņas materiālu strukturālajā sastāvā [30], [31].

Spektrālīniju attēlveidošanu var veikt, ja objektu apgaismo vienlaikus ar vairākām lāzerlīnijām un pēc tam veicot analīzi katra attēla pikselī atsevišķi. Piemēram, ja izmanto *RGB* kameru, pēc tam var izdalīt trīs monohromātiskus attēlus, ja apgaismojumam tiek izmantotas trīs spektrālīnijas [30].

Precīza viļņu garuma noteikšana ir būtiska, jo pat nelielas izmaiņas var norādīt uz būtiskām fizikālām, ķīmiskām vai bioloģiskām īpašībām. Augsta izšķirtspēja nodrošina iespēju atšķirt tuvu izvietotas spektrālīnijas, sniedzot detalizētu informāciju par attēlotā objekta raksturlielumiem [31].

2.5. Ādas attēlveidošanas sistēmas un to salīdzinājums

Šajā apakšnodaļā tiek aprakstīts detalizēts salīdzinājums starp ādas attēlveidošanas sistēmām, kuras tiek izmantotas pilna ķermeņa attēlveidošanai, ādas vēža atklāšanai un ādas veselības monitoringam. Salīdzināmas sistēmas ir:

- *Dermoscan Dermogenius Ultra X2*;
- *Vectra WB360 Imaging system*;
- *Fotofinder Systems*;
- *Molemax*.

Dermoscan Dermogenius Ultra X2 ir digitālā dermatoskopijas sistēma, ko izstrādāja *Medicom*, ir paredzēta augstas kvalitātes ādas veidojumu attēlveidošanai ar īpašu uzsvaru uz agrīno melanomas atklāšanu un ādas vēža skrīningu [32].

Galvenie raksturojumi:

- Augstas izšķirtspējas attēlveidošana - sistēma izmanto polarizētu *LED* apgaismojumu, kas palīdz samazināt atstarošanos no ādas virsmas un augstas izšķirtspējas digitālo dermatoskopiju, lai iegūtu detalizētus attēlus no ādas bojājumiem. Tas nodrošina precīzu vizuālo novērtējumu, lai atklātu aizdomīgas ādas izmaiņas;
- Pilna ķermeņa fotogrāfija – ir iespējama pilna ķermeņa ādas skenēšana, ļaujot dermatologiem sekot ādas veidojumu attīstībai;
- Automatizētā analīze – integrēta programmatūra iekļauj rīkus attēlu salīdzināšanai un veidojumu atklāšanai, kas nodrošina izmaiņu monitorēšanu laika gaitā [32].

Šī iekārta tiek pielietota melanomas atklāšanai, pilna ķermeņa attēlveidošanai, kā arī pigmentu un veidojumu izmaiņu uzraudzībai. Vāja puse – atkarība no pareiza apgaismojuma, jo apgaismojums ietekmē rezultātu kvalitāti.

Vectra WB360 ir pilna ķermeņa 3D attēlveidošanas sistēma, ko izstrādāja *Canfield Scientific*, izmanto modernu attēlveidošanas tehnoloģiju ādas vēža atklāšanai un veidojumu uzraudzībai.

Galvenie raksturojumi:

- 3D attēlveidošana, jo sistēma uztver visa ķermeņa, augstas izšķirtspējas 3D attēlus no ādas, ļaujot veikt detalizētu analīzi un veidojumu monitoringu laika gaitā;
- Ādas vēža uzraudzība – *Vectra WB360* speciālizējas melanomas un citu ādas veidojumu monitorēšanā, nodrošinot detalizētus 3D rekonstrukcijas attēlus;
- Mākslīga intelekta balstīta programmatūra, kas palīdz dermatologiem identificēt potenciāli bīstamus ādas bojājumus;
- Detalizēta ādas attēlveidošana nodrošina pārskatu par visa ķermeņa ādas virsmu no dažādiem leņķiem, kas palīdz agrīnai audzēju atklāšanai un monitorēšanai [33].

Šī iekārta tiek pielietota ādas vēža skrīningam, 3D bojājumu monitoringam un monitoringa datu salīdzināšanai. Vājā puse – nepieciešama liela telpa, lai varētu uzstādīt iekārtu, precizitāte ir atkarīga no sadarbības ar pacientu, netiek sniegta detalizēta medicīniskā diagnoze, augstas izmaksas.

Fotofinder sistēma nodrošina digitālās dermatoskopijas risinājumu ādas vēža atklāšanai, speciālizējoties agrīnā melanomas atklāšanā un ādas veselības monitoringā [32].

Galvenie raksturojumi:

- Ultravioleta starojuma un redzamās gaismas izmantošana, kas ļauj dermatologiem ar lielāku precizitāti novērtēt ādas veidojumus;
- Mākslīgā intelekta balstīta analīze, kas nodrošina automatizētu veidojumu atklāšanu, izmantojot mākslīgā intelekta algoritmus, kas analizē veidojumu pazīmes, lai noteiktu iespējamās ādas izmaiņas;
- Pilna ķermeņa fotogrāfijas, jo sistēma uzņem augstas izšķirtspējas attēlus no visa ķermeņa ādas veidojumu monitorēšanai [32].

Sistēmu pielieto detalizētajam vēža skrīningam, ilgtermiņa veidojumu monitoringam. Sistēmas vājas puses – nepieciešams nodrošināt pareizo apgaismojumu, efektivitāte ir atkarīga no uzņemto attēlu kvalitātes, var būt nepietiekamā precizitāte rezultātos [32].

Molemax ir moderna dermatoskopijas sistēma, kas paredzēta augstas izšķirtspējas ādas veidojumu attēlveidošanai un melanomas atklāšanai. Sistēmā integrētas modernākās attēlveidošanas tehnoloģijas, automatizēta ādas izmaiņu monitorēšana un mākslīgā intelekta balstīta analīze [35].

Galvenie raksturojumi:

- Augstas izšķirtspējas attēlveidošana, jo tiek izmantota digitālā dermatoskopija ar līdz pat 1000x reižu palielinājumu, lai uztvertu detalizētus attēlus no ādas veidojumiem, piemēram, melanomas;
- Polarizēts un nepolarizēts *LED* apgaismojums nodrošina iespējamību attēlveidošanai dažādos apgaismojuma apstākļos. Polarizēta gaisma samazina virsmas atstarošanos, savukārt nepolarizēta uztver virspusējas struktūras, piemēram, pigmentu;
- Pilna ķermeņa fotogrāfija nodrošina iespēju monitorēt visa ķermeņa veidojumus un salīdzināt jaunuzņemtos attēlus ar iepriekš saglabātajiem, vērojot izmaiņas [35];
- Mākslīga intelekta balstīta analīze – sistēma izmanto algoritmus, kas analizē veidojumu īpašības, piemēram, simetriju, malas, krāsu un izmēru, lai novērtētu ļaundabīguma risku [36];

- Kompakts un portatīvs dizains – *Molemax* ir izstrādāts, lai būtu viegli transportējams, padarot to piemērotu gan privātām dermatoloģijas praksēm, gan mobilām ādas skrīninga klīnikām. Ierīce ir viegla un pārnēsajamā, saglabājot profesionālu diagnostikas līmeni.

Sistēmu pielieto detalizētai ādas veidojumu un struktūru izmeklēšanai, agrīnai melanomas atklāšanai. Vājas puses – nepieciešama pareiza pacienta pozicionēšana un uzņemto attēlu kvalitāte būtiski ietekmē rezultātus.

2.6. Ļaundabīgie ādas audzēji

Bazālšūnu karcinoma jeb bazalioma ir visprimitīvākais bazālšūnu diferencēšanās nosacītais epiteliālais audzējs, cilvēkam visbiežāk sastopamais ļaundabīgais ādas veidojums (skat. 2.8. att.). Ilgstoša uzturēšanās saules gaismā, gan dabiskā, gan mākslīgā, ir visbiežākais bazālšūnu karcinomas cēlonis, saslimst arī cilvēki, kas bijuši saskarē ar jonizējošo starojumu. Rodas vietās, kas bijušas pakļautas saules gaismas iedarbībai. Bazālšūnu karcinomas gadījumā metastāzes veidojas ļoti reti, mazāk nekā 0,01% gadījumā [44].



2.8. att. Bazālšūnu karcinoma jeb bazalioma (deguna zona) [44]

Plakanšūnu karcinoma attīstās no saules keratozēm vai arī Bouena slimības, kas ir plakanšūnu karcinomas sākuma forma. Tā ir sārta, izplūdusi plakana ādas zona, kas ir noklāta ar dzeltenīgu zvīņojumu. Plakanšūnu karcinomai pastāv metastāžu risks, to palielina audzēja lielums [44].

Ļaundabīgā melanoma ir visretāk sastopamā un vissmagākā no ļaundabīgiem ādas veidojumiem (skat. 2.9. att). Tā var agri veidot metastāzes un izraisīt nāvi. Tā ir klasiskā vēlākās stadijās malignizējusies melnā dzimumzīme. Melanomas rašanās ir saistīta ar spēcīgu

iedegumu un ģenētiskiem riska faktoriem, var rasties jebkurā ādas vai jau esošās dzimumzīmes vietā. Kad tā ir neliela pēc izmēra, ir vērojamas neregulāras bojājuma malas un pigmentācija. Pastāv kritēriji, ko izmanto, lai atšķirtu melanomu no labdabīgas dzimumzīmes. Kritēriji, ko izmanto ir “*ABCDE*” princips un tas ir ļoti svarīgs dermatoloģijā ādas veidojumu analīzei. Tas palīdz ārstiem un veselības aprūpes speciālistiem ātri un efektīvi novērtēt ādas izmaiņas, pamatojoties uz piecām galvenajām īpašībām.



2.9. att. Ļaundabīgā melanoma [44]

Katrs burts “*ABCDE*” apzīmē pazīmi, kurai jāpievērš uzmanība, novērtējot ādas veidojumus:

- A - Asimetrija: ja veidojums ir asimetrisks, tas var liecināt par melanomu. Labdabīgie veidojumi parasti ir simetriski [37];
- B – Robežas: neasas vai nevienmērīgas malas var liecināt par ļaundabīgu audzēju [38];
- C – Krāsa: krāsu nevienmērība, piemēram dažādas krāsas zonas – brūnas, melnas, sarkanas, baltas vai zilas, var norādīt uz potenciāli ļaundabīgu ādas veidojumu [37], [39];
- D – Diametrs: lielāki veidojumi, kas pārsniedz 6 mm diametru, potenciāli var liecināt par melanomu [39];
- E – Izmaiņas: ja ādas veidojums mainās izmēros, krāsā vai formā, tas var liecināt par veidojuma attīstību [40].

Melanomai ir vairākās formas:

- *In situ* melanoma – 0 melanomas stadija, audzējs izplatās tikai ādas virsējā slānī, epidermā [45];
- Virspusējā visbiežāk novērojama melanomas forma 70%. Šajā stadijā veidojums aug horizontāli un tikai neredz dzīlākajos audos. Tieši šai melanomas formai ir raksturīgas klasiskās vizuālās pazīmes [45];

- Mezglveida jeb nodulārā melanoma – aptuveni 15% no visām melanomām. Melanomas veids ir apaļš pēc formas, raksturīga strauja augšana [45];
- Lentigo maligna melanoma līdz 10-15% no visām melanomām. Melanomas veids bieži sasniedz lielus izmērus līdz pat 10 cm diametrā, ar neregulārām malām [45];
- Akrālās lentiginozās un zemnaga melanoma – plaukstu un pēdu melanomas. Sastopama reti, 2-3% no visiem melanomas gadījumiem [45].

2.7. Optisko attēlu kvalitātes raksturlielumi

Dermatoloģijā attēla kvalitāte ir kritisks faktors precīzai veidojuma noteikšanai un monitorēšanai, tas ir svarīgs faktors precīzai diagnozei. Galvenie attēla kvalitātes parametri ir:

- Asums, jo definē attēla spēju attēlot smalkas detaļas, piemēram, ādas struktūras. Samazināta asuma dēļ var būt diagnostikas kļūdas un nepareizi noteikta diagnoze [46];
- Kontrasts norāda atšķirību starp tumšām un gaišām zonām, ir kritiski svarīgs parametrs veidojumu struktūru un robežu noteikšanai [46];
- Ģeometriskā deformācija var mainīt veidojuma izmēru un formu, kas ietekmē diagnostiku un monitorēšanu [46];
- Krāsu precizitāte – pareiza ādas toņa, pigmenta un veidojuma krāsu attēlošana ir svarīga ādas diagnostikai [47].

Lai iegūtu diagnostiski derīgus dermatoloģiskus optiskos attēlus, ir nepieciešami vairāki kvalitātes parametri. Gan attēlveidošanas iekārtu parametri, gan attēlu iegūšanas metode būtiski ietekmē gala rezultātu – diagnostisko dermatoloģisko attēlu.

3. PĒTĪJUMA STRATĒGIJA, LAI IZPĒTĪTU CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA

Lai noteiktu cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva:

- 1) Tika veikts literatūras apskats par ādas uzbūvi un optiskajām īpašībām un apgaismojuma spektrālo avotu ietekmi uz ādas attēla kvalitāti, apskatīti esošie risinājumi ādas vizuālajā analīzē un diagnostikā. Tika izpētīti arī tehnoloģiskie risinājumi un metodes, kas tiek izmantotas ādas vizuālajā analīzē un diagnostikā;
- 2) Atbilstoši 1). tiks pamatoti un izvēlēti piemērotas pētījuma metodes un aparātūra. Šajā posmā tiks izvērtēti eksperimentālie nosacījumi, kuros tiek novērtēta apgaismojuma spektrālo parametru ietekme uz attēla kvalitāti;
- 3) Tiks izstrādāts detalizēts procedūras protokols, kurā aprakstītas visas pētījuma aktivitātes – sākot no attēlu uzņemšanas līdz analīzes veikšanai klīniskajām pētījumam, pēc tam tiks sagatavota un iesniegta pieteikuma vēstule LU Ētikas komitejas apstiprinājumam;
- 4) Lai nodrošinātu pētījuma kvalitāti un atbilstību klīniskajai realitātei, tiks izveidota cieša sadarbība ar pieredzējušiem dermatologiem;
- 5) Sadarbībā ar pētījumā iesaistītiem dermatologiem tiks izveidota 15 - 25 brīvprātīgo pacientu grupa ar apstiprināto klīnisko diagnozi, tiks savākti brīvprātīgo rakstiskie piekrišanas dokumenti piedalīties pētījumā;
- 6) Klīniskā pētījuma laikā tiks veikta cilvēka ķermeņa ādas attēlu uzņemšana, izmantojot izvēlēto aparāturu un dažādus apgaismojuma spektrus;
- 7) Pētījumā tiks mainīti apgaismojuma parametri, lai iegūtu plašu datu kopu, kas atspoguļo attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva. Tiks novērtēta iegūto cilvēka ķermeņa ādas optisko attēla kvalitāte, analizējot apgaismojuma ietekmi;
- 8) Sasniegtie rezultāti par cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva tiks apstrādāti un aprakstīti;
- 9) Cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarība no apgaismojuma spektrālā sastāva rezultāti tiks izanalizēti;

- 10) Tiks izstrādāti secinājumi un rekomendācijas par pētījuma cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva rezultātiem.

4.1. Klīniskā pētījuma iekārtas prototips

Technical drawing of a camera crane (Gaismotājs) showing dimensions and components. The drawing includes the following labels and dimensions:

- Objektīvs** (Lens)
- Fotoaparāts** (Camera)
- Gaismotājs** (Crane)
- Objekta plakne** (Object plane)
- Augšējā pozīcija (2)** (Upper position (2))
- Apakšējā pozīcija (1)** (Lower position (1))
- Dimensions:**
 - G:** 814,88
 - C:** 113,50
 - B:** 603,00
 - A:** 720,00
 - E:** 542,56
 - F:** 1357,44
 - D:** 1900,00
- Angles:** 74° (indicated twice for the upper and lower positions).

Galvenie apgaismojuma - kameras sistēmas elementi:

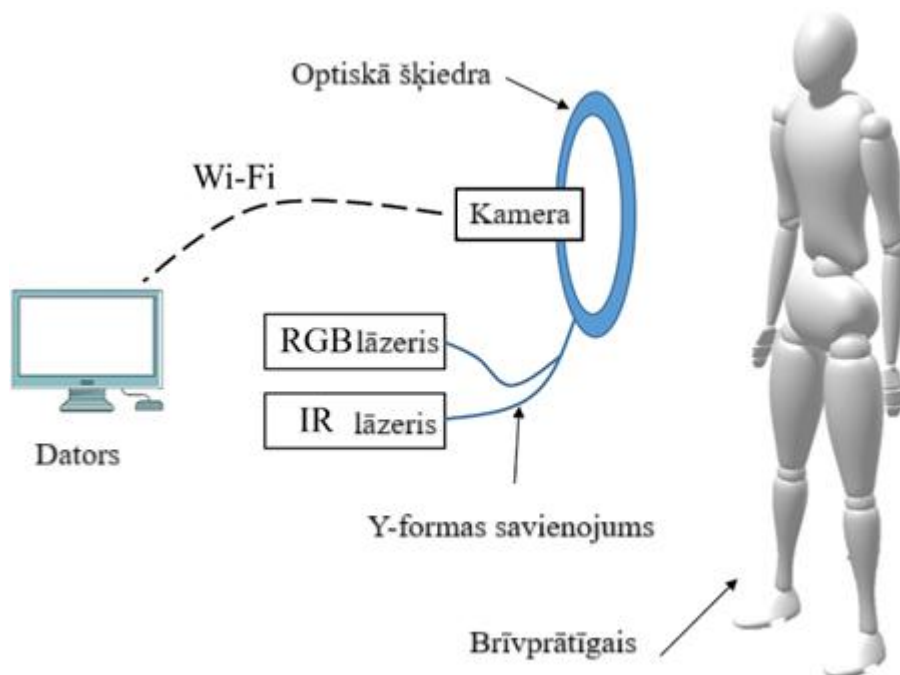
- 31

- Pozīcijas (1) un (2) – apakšēja un augšēja pozīcija norāda kameras kustības diapazonu.

Izstrādāta prototipa iekārta, kas parādītā 4.1. att., ietver 60 m spirālveida sānstarojošu optisko šķiedru (ar 600 mikronu sintētiskā kvarca kodolu), kas savienota ar 3W *RGB* (sarkans-zaļš-zils) lāzeri, kas izstaro trīs spektrālās līnijas (450 nm, 530 nm un 640 nm) ar aptuveni 1W katra, kā arī infrasarkanā (*IR*) starojuma lāzeri (850 nm).

Sānstarojošā optiskā šķiedra ir *SMA* pieslēgta lāzeriem caur Y-veida optisko šķiedru. Tās distālā galā atrodas mikroreflektors, kas nodrošina vienmērīgu sānu izstarojuma intensitāti, ļaujot vienmērīgi apgaismot lielas ādas zonas ar visiem četriem lāzera viļņu garumiem vienlaikus. Lai nodrošinātu infrasarkanā spektra attēlveidošanu, kameras *CMOS* sensora infrasarkanais filtrs, kas parasti bloķē viļņus virs 700 nm, ir noņemts.

Apgaismojuma - kameras sistēma ir uzstādīta uz motorizētas platformas, kas pārvietojas vertikāli starp diviem fiksētiem augstumiem (0,5 m un 1,5 m), izmantojot lineāro aktuatoru ar skrūvju piedziņu, kas nodrošina augstu kustības precizitāti un ļauj optimāli pielāgot augstumu, lai uzņemtu attēlus no augšējās un apakšējās ķermeņa daļas. Fotoaparāta optiskā ass sakrīt ar gaismotāja optisko asi, gaismotājs vērsts fotografējamā objekta virzienā (4.2.att).



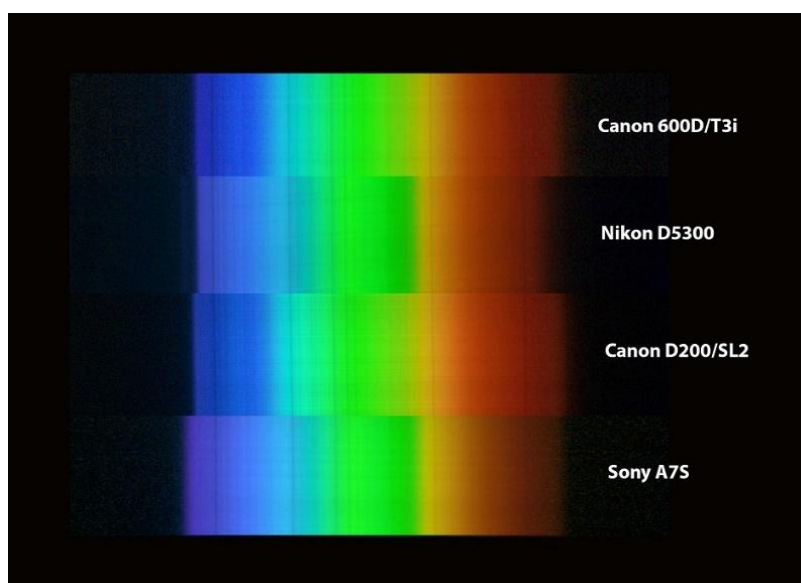
4.2.att. Komponentu shēma

Attēlveidošana tiek veikta četrās spektrālās joslās: pie trim redzamajiem viļņu garumiem (450 nm, 530 nm un 640 nm) un viena infrasarkanajā viļņu garumā (850 nm). Apgaismojumu nodrošina *RGB* lāzerdiodes, kas savienotas ar sānstarojošo optisko šķiedru, savukārt papildus *IR* lāzera apgaismojums uzlabo ādas struktūru attēlveidošanu dažādos dziļumos.

4.2. Kamera (fotoaparāts) cilvēka ķermeņa ādas attēlu uzņemšanai

61 megapikseļa *RGB* kamera (*Sony a7R IVA* ar *Sony SEL2470GM F2.8 G* pilna kadra standarta tālummaiņas objektīvu) ir novietota iekšpusē, aiz šķiedras spirāles. Atšķirībā no komerciālām sistēmām, kas izmanto plaša joslas platuma baltu gaismu (piemēram, *Fotofinder*), šis prototips nodrošina augstāku spektrālo selektivitāti. Lāzera apgaismojuma līnijas pusplatums (*FWHM* – *full width at half-maximum*) nepārsniedz 0,1 mm, savukārt standarta *RGB* kamera platjoslas apgaismojumā rāda tikai *R*-, *G*- un *B*-attēlus ar ievērojami zemāku spektrālo izšķirtspēju (*FWGM* 80-100 nm). Tai ir uzlabota autofokusa sistēma ar reāllaika fokusēšanu, kā arī 5 asu attēla stabilizācija, kas palīdz iegūt asus kadrus pat pie zemāka slēdža ātruma [41].

4.3.att. ir redzami spektrālie jūtības profili četrām dažādām kamerām *Canon 600D/T3i*, *Nikon D5300*, *Canon D200/SL2* un *Sony A7S*.



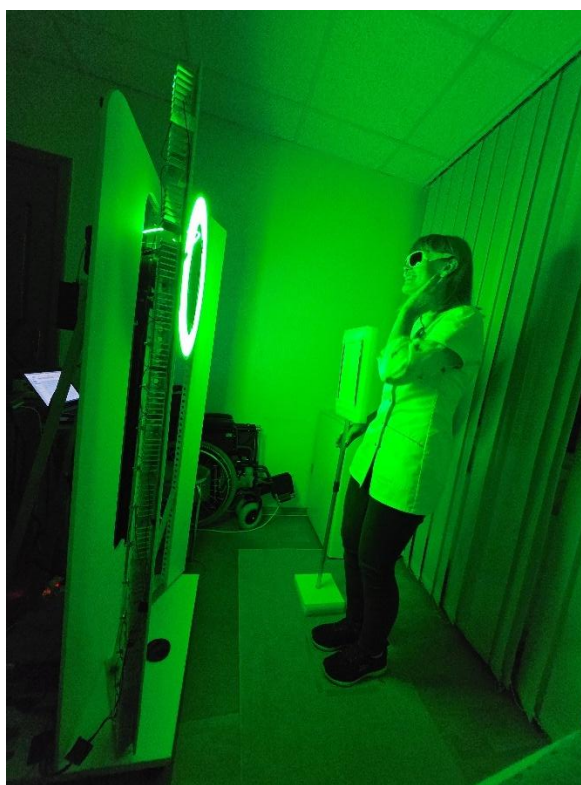
4.3. att. Fotokameru spektrālā jūtība [42]

Katrs kameras profils parāda to, kāda ir reakcija uz dažādiem gaismas viļņu garumiem, šajā salīdzinājumā var novērot atšķirības kameru spektrālajās atbildēs.

Canon 600D/T3i un *D200/SL2* ir spektrālās atbildes ierobežojumi, īpaši sarkanajā un zilajā joslā. Tas norāda uz to, ka kamera nav pielietojama zemākajos viļņu garumos salīdzinot ar citiem modeļiem. *Nikon D5300* ir ar platāko spektrālo atbildi, īpaši zaļajā joslā, *Sony A7S* ir izteikta ar plašu spektrālo jūtību, īpaši sarkanajā un zaļajā joslā. Tai ir labāka jūtība pret dažādiem gaismas viļņiem.

4.3. Klīnisko pētījumu telpa

Lai novērstu vides gaismas traucējumus, apgaismojuma-kameras sistēma un brīvprātīgais atrodas Latvijas Onkoloģijas centra telpā (4.4. att), kur ir aptumšoti logi. Sistēma darbojas attālināti caur *Wi-Fi*, ķermeņa attēlveidošanai ir nepieciešami vairāki attēli dažādos apgaismojumos, kuru uzņemšana prasa apmēram 2-5 minūtes. Brīvprātīgais kopā ar sistēmu tās darbības laikā atrodas slēgtajā aptumšotā kabinetā, gan fotoaparāta slēdzi, gan automātiskās pārvietošanas mehānismu iedarbina attālināti.



4.4.att. Klīnisko pētījumu telpa

Atkarībā no tā, kur ir veidojuma lokalizācija, apgaismojuma - attēlošanas sistēmu pozicionē augšējā vai apakšējā attēlu uzņemšanas pozīcijā. Veidojumu lokalizāciju nosaka dermatologs pēc visu brīvprātīgā veidojumu apskates ar dermatoskopu. Ir divas pozīcijas –

sēdus un stāvus, atkarībā no veidojumu lokalizācijas un pacienta fiziskām spējām – ja cilvēks nevar stāvēt attēlu uzņemšanas laikā, tad viņu pozicionē sēdus.

4.4. Cilvēka ķermeņa ādas optisko attēlu apstrādes programmatūra

Tiek analizēta cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarība no apgaismojuma spektrālā sastāva, izmantojot dažādus viļņa garumus un digitālo attēlu kvalitātes analīzi. Tika novērtētas ādas optiskā attēla kvalitātes izmaiņas, mainot apgaismojuma spektrālo sastāvu. Pētījuma tiek analizētas atsevišķas spektrālās komponentes – viļņa garumi 450 nm, 530 nm, 640 nm un 850 nm.

Cilvēka ķermeņa ādas attēlu apstrādes programmatūra sastāv no diviem posmiem: attēlu pirmsapstrādes posms un pēcapstrādes posms. Klīniskā pētījuma laikā fotokameras iegūtie dati tiek apstrādāti *Matlab* programmēšanas un skaitļošanas vidē.

Lai veiktu attēlu pirmsapstrādi, pirms tiek uzņemti brīvprātīgo ādas veidojuma attēli, tiek iegūtas baltas references attēli četros apgaismojumos – sarkanajā, zilajā, zaļajā un infrasarkanajā. Šīs references attēlus izmanto, lai veiktu pirmsapstrādes programmatūras kalibrāciju.

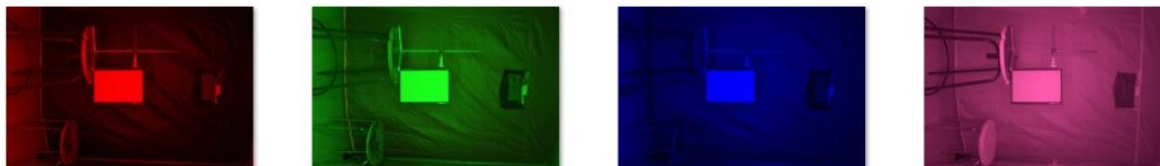
Baltās references uzņemšanas posmi:

- 1) Tika izvēlēta balta reference *xrite ColorChecher White balance* (4.5.att.), kuru novietoja uz statīva;
- 2) Referenci uz statīva novietoja apgaismojuma - kameras sistēmas priekšā tajā pašā vietā un attālumā, kur tiek pozicionēts objekts (brīvprātīgais);
- 3) Notika attēlu uzņemšana četros apgaismojumos - sarkanajā, zilajā, zaļajā un infrasarkanajā (4.6.att.).



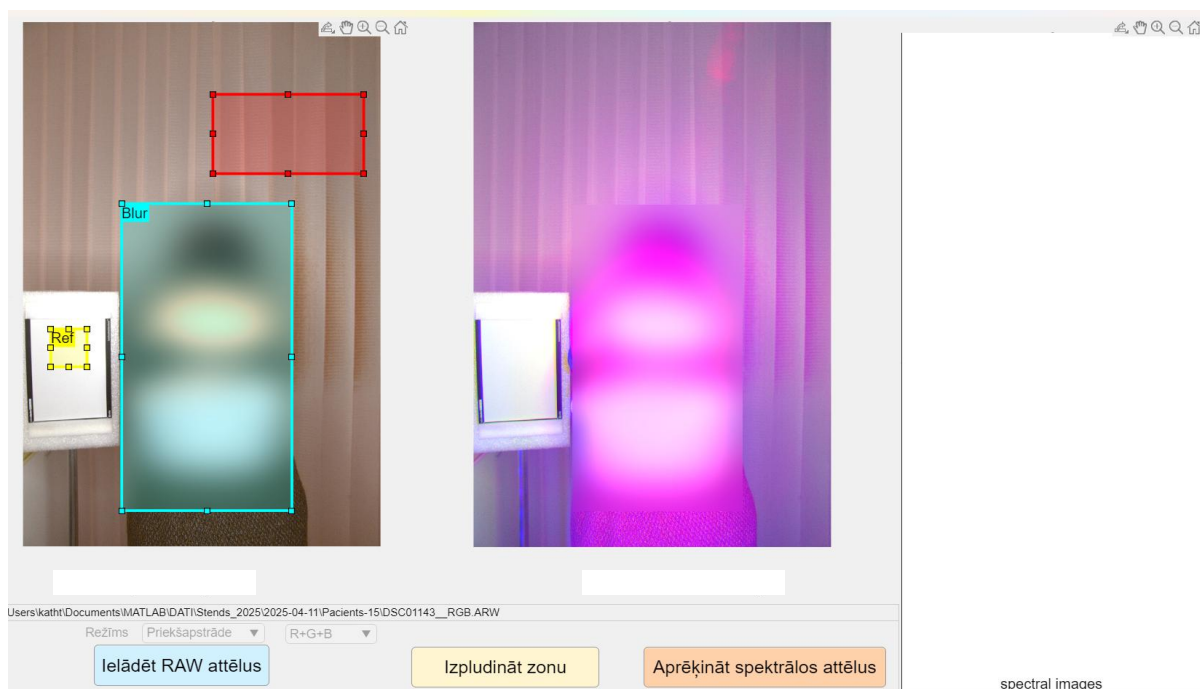
4.5.att. *xrite ColorChecher* baltā reference [43]

Baltās references attēls ir nepieciešams, lai nodrošinātu, ka krāsas fotogrāfijā tiek attēlotas pareizi, neatkarīgi no apgaismojuma spektrālā sadalījuma.



4.6.att. Baltās references uzņemšana

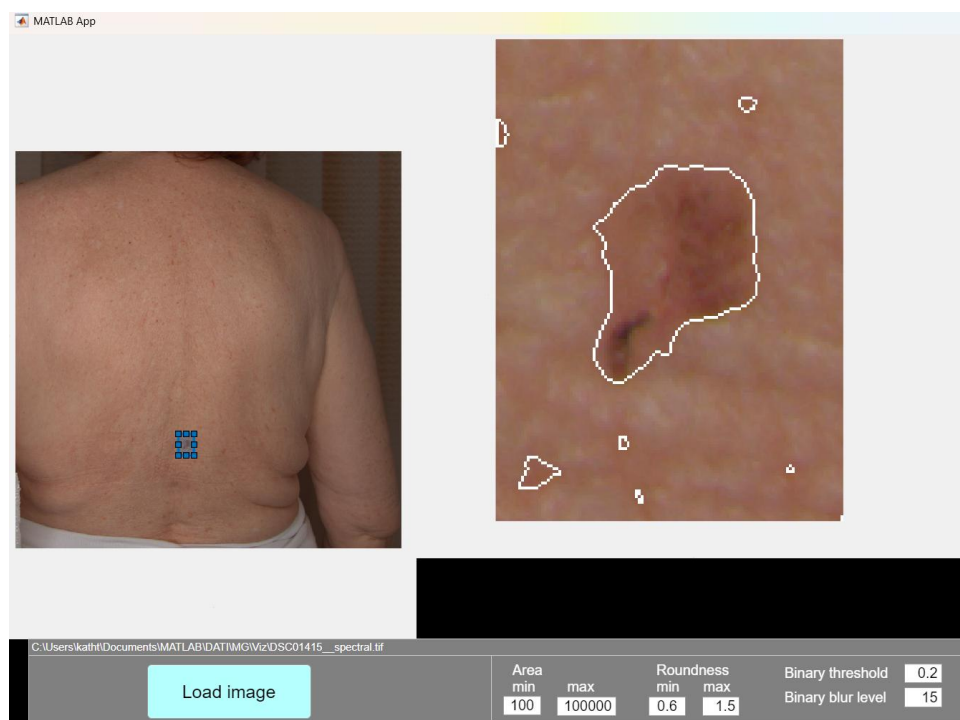
Pēc baltās references kalibrācijas pirmsapstrādes programmā (4.7. att.) tiek ielādēti ar fotokameru uzņemti attēli *ARW* formātā, izplūdināta intimā zona un izvēlēta interešu zona, kur ir lokalizēts ādas veidojums, lai veiktu apstrādi ar pēcapstrādes programmatūru.



4.7.att. Attēlu pirmsapstrādes programmatūra

Pēcapstrādes programmatūra iekļauj vairākus attēlu apstrādes posmus:

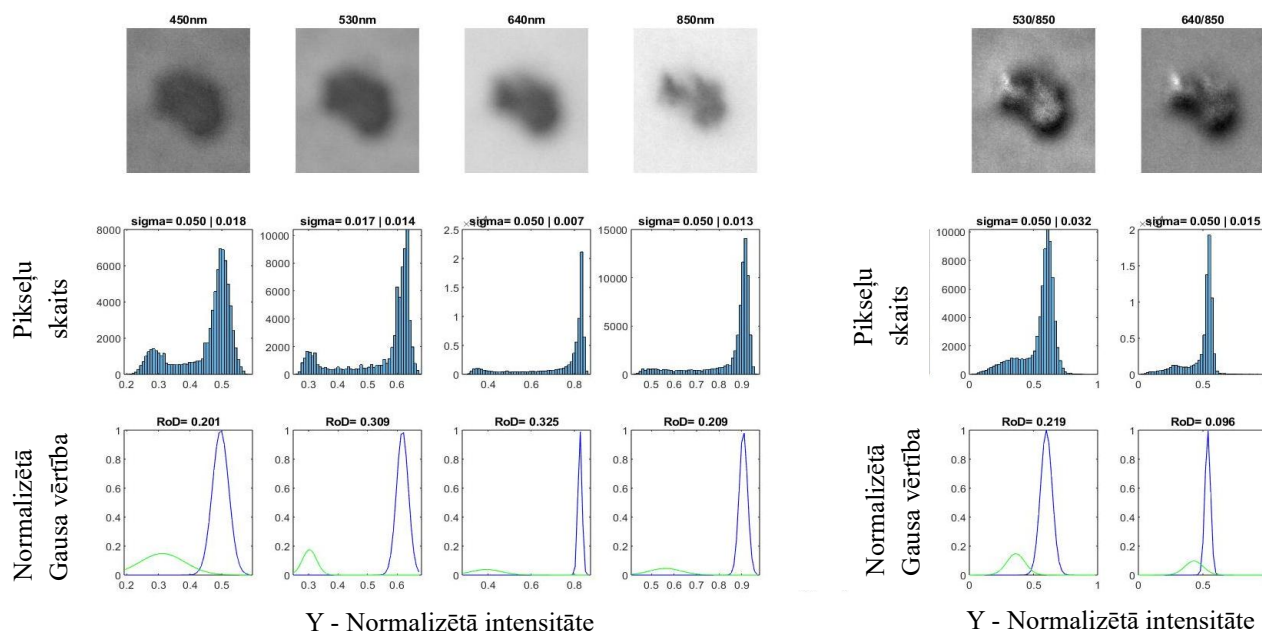
- 1) Katrs attēls tiek ielādēts *Matlab* pēcapstrādes programmatūrā, manuāli tiek izvēlēta interešu zona (4.8.att.);
- 2) Tiek atpazīti pigmentētie veidojumi un veikta attēla datu apstrāde;
- 3) Katrs *R*-, *G*-, *B*- un *IR* attēls tiek pārvērsts pelektoņu attēlā;
- 4) Katram veidojumam tiek aprēķinātas ādas un veidojuma sigma vērtība, pikseļu spilgtuma histogramma, aprēķināts katra gaismas kanāla relatīvais optiskais blīvums.



4.8.att. Attēlu pēcapstrādes programmatūra

4.5. Optisko attēlu kvalitātes aprēķināmie parametri

Katram attēlam *Matlab* pēcapstrādes programmā tika noteiktas kvantitatīvās optiskā attēla kvalitātes parametru vērtības. Skaitliski tika noteikti svarīgāki dermatoloģiskā attēla kvalitātes parametri: asums, spilgtums un kontrasts. Kvalitatīvi tika izvērtēts vizuālais attēls pie 450 nm, 530 nm, 640 nm un 850 nm. (4.9. att).



4.9.att. Attēlu apstrāde

Histogrammu aprēķiniem tiek pielāgotas divas Gausa funkcijas (4.1):

$$f(x) = a_1 * \exp\left(-\frac{x-\mu_1^2}{c_1}\right) + a_2 * \exp\left(-\frac{x-\mu_2^2}{c_2}\right), \quad (4.1)$$

kur x – pikseļu intensitātes vērtība (normalizētā);

a_1, a_2 – katras Gausa funkcijas amplitūda (maksimuma augstums);

μ_1, μ_2 – funkciju centrs (vidējās intensitātes vērtības);

c_1, c_2 – platuma parametri.

Asuma sigmas vērtība tiek aprēķināta kā puse no pielāgotā Gausa funkcijas platuma parametra (4.2):

$$\sigma = \frac{c}{2}, \quad (4.2)$$

kur σ – veidojuma, ādas sigma;

c – platuma parametrs.

Mazā σ vērtība nozīmē, ka ir šaura un asa pāreja, liela σ vērtība nozīmē, ka ir plata, izplūdusi pāreja.

Spilgtuma novērtēšanai tika veidotas spilgtuma vērtību un pikseļu skaita histogrammas sadalījums.

Optiskā attēla kontrasta skaitliskā vērtība tika noteikta, aprēķinot relatīvo optisko blīvumu (4.3). Optiskais blīvums apraksta gaismas absorbciju audos. Attēlu analīzē tiek aprēķināts relatīvais optiskais blīvums, lai salīdzinātu divas dažādas zonas – vesela āda un veidojums.

Relatīvo optisko blīvumu aprēķina pēc formulas:

$$RoD = \log_{10}\left(\frac{\mu_{ves}}{\mu_{veid}}\right), \quad (4.3)$$

kur RoD – relatīvais optiskais blīvums;

μ_{ves} ir veselas ādas Gausa funkcijas centra vērtība;

μ_{veid} ir veidojuma Gausa funkcijas centra vērtība.

5. PĒTĪJUMA REZULTĀTU NENOTEIKTĪBU NOVĒRTĒŠANAS METODES

Šajā pētījumā tiks izmantota kvalitatīva nenoteiktības novērtēšanas metode, kuras mērķis ir identificēt un novērtēt faktorus, kas var ietekmēt attēlu analīzes rezultātu ticamību, pētījumā laikā netiek veikti vairāki atkārtoti mērījumi un nenoteiktību ietekmē vairāki ārējie faktori.

Galvenie ārējie faktori, kas ietekmē pētījuma rezultātus:

- Fotoaparāta kvalitāte, tā izšķirtspēja un sensora lielums – zemas izšķirtspējas un vecs fotoaparāts var uzņemt izplūdušus un neskaidrus attēlus, kas apgrūtinātu ādas izmaiņu noteikšanu, objektīvs var ietekmēt attēlu asumu un kontrastu, tas ir svarīgi, lai atšķirtu ādas izmaiņas, dinamiskais diapazons ietekmē arī attēla kvalitāti;
- Apgaismojums – nepareizs apgaismojums var rādīt ēnas vai pārmērīgu apgaismojumu uz ādas, var izkropļot ādas struktūru;
- Fokuss un attālums – ja attēls ir izplūdis, tas var apgrūtināt ādas izmaiņu analīzi, attālums līdz ādai uzņemšanas brīdī ietekmē attēla kvalitāti;
- Pozicionēšana un stabilitāte – ja cilvēks nav pareizi novietots attēla uzņemšanas laikā, var izkropļoties attēls, ja fotoaparāts ir kustīgs attēlu uzņemšanas laikā, tas arī ietekmē attēla kvalitāti, nepietiekamas stabilitātes dēļ var būt izplūdis vai neskaidrs attēls;
- Kalibrēšana un validācija – ja fotoaparāta uzstādījumi nav pareizi, tas var rādīt sistemātiskās kļūdas attēlos.

Lai samazinātu šos faktorus, kas ietekmē pētījuma rezultātus, ir nepieciešams:

- regulāra kalibrēšana, lai nodrošinātu fotoaparāta precizitāti – baltā reference;
- jāstandartizē attēla uzņemšanas procedūru, izstrādājot konkrētu fotogrāfijas uzņemšanas procedūru;
- jāizmanto profesionālo gaismu, kas nodrošina vienmērīgu apgaismojumu, lai uzlabotu attēla kvalitāti un samazinātu nenoteiktību;
- jānodrošina stabila fotoaparāta pozicionēšana un fiksācija.

Izvēlēta kvalitatīva nenoteiktības metode dod iespēju sistēmātiski novērtēt galvenos faktorus, lai samazinātu iegūto rezultātu nenoteiktību un veicinātu rezultātu uzticamību.

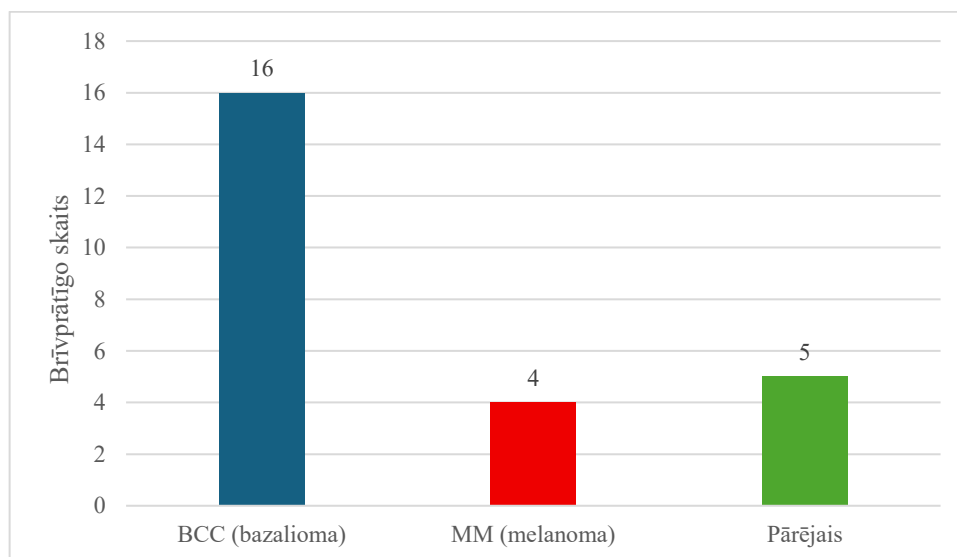
Jāuzsver, ka pētījumā laikā lielākā daļa identificēto nenoteiktības avotu tika kontrolēti un minimalizēti. Cilvēka ķermeņa ādas optiskie attēli tika uzņemti stabilos apstākļos, izmantojot profesionālo apgaismojumu, vienotu fotografēšanas attālumu, fiksētu fotoaparāta pozicionēšanas shēmu un profesionālo fotoaparātu.

6. PĒTĪJUMA, LAI IZPĒTĪTU CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA ĪSTENOŠANA, SASNIEGTO REZULTĀTU APSTRĀDĀŠANA UN APRAKSTĪŠANA

6.1. Klīniskā pētījuma īstenošanas rezultāti

Klīniskajā pētījumā, lai izpētītu cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva piedalījās 20 brīvprātīgi pacienti, kuriem ir noteikta klīniskā diagnoze un kuri iepriekš ir bijuši pie dermatologa uz apskati.

Katram no brīvprātīgajiem dermatologs noteica ādas veidojuma diagnozi un parādīja veidojumu lokalizāciju, lai precīzi veiktu attēla uzņemšanu. Pētījumā ir 20 brīvprātīgi ar 16 bazaliomām, 4 melanomām un 5 cita tipa veidojumiem, tādiem kā nēvuss (skat.6.1.att).



6.1. att. Brīvprātīgo diagnosticēto veidojumu sadalījums

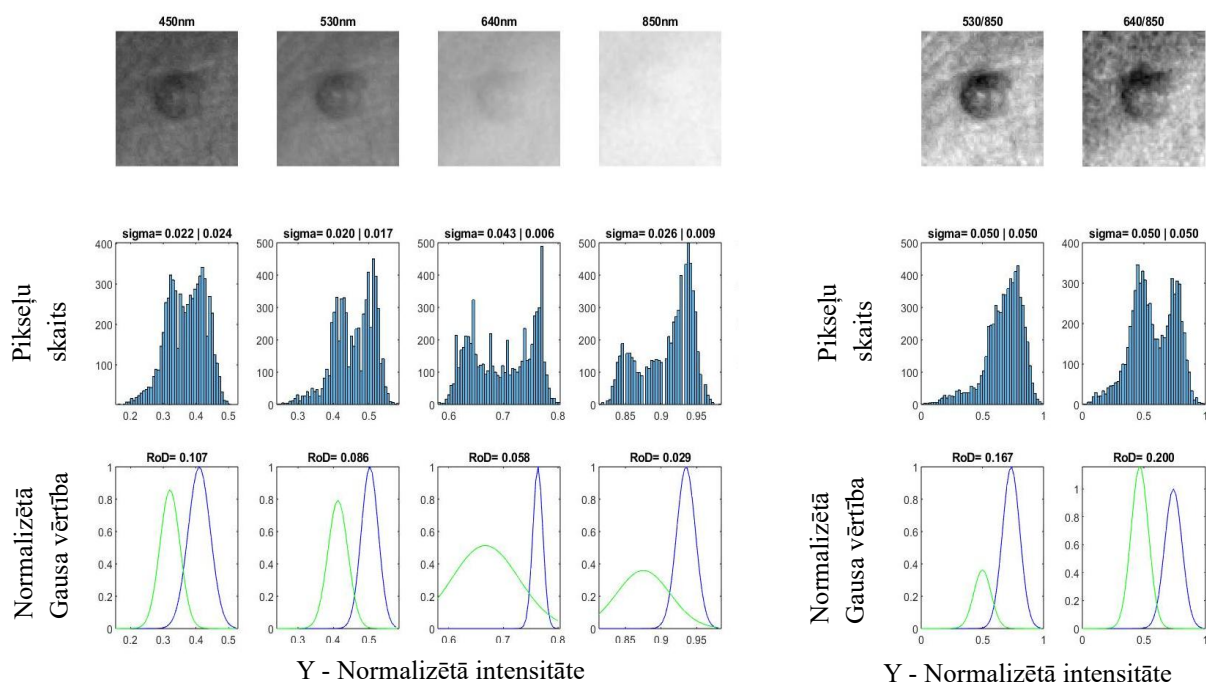
Vairākiem brīvprātīgajiem bija vairāk nekā viens melanomas vai bazaliomas veidojums, kā arī nēvuss, kas tika iekļauts pētījumā, lai izpētītu cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva.

6.2. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 1 (bazalioma)

Attēli tika analizēti pēc vairākiem kvalitātes kritērijiem – vizuālais novērtējums, kontrasts, asums pēc sigma vērtības un spilgtums. 6.2. att. ir apkopoti rezultāti par brīvprātīgo Nr 1. Pirmajā datu rindā ir attēlota brīvprātīgā āda ar veidojumu četros viļņu garumos – 450 nm, 530 nm, 640 nm un 850 nm un spektrālo attēlu attiecības – 530/850 nm un 640/850 nm. Otrajā rindā ir histogrammas, kas parāda intensitāšu sadalījumu attēlos, katram attēlam ir divas

sigma vērtības - pirmā sigma ir intensitāšu sadalījums ādai, otrā sigma ir sadalījuma platums veidojumam. Trešā (apakšējā) rinda ir divu Gausa funkciju pielīdzinājumi histogrammai.

Vizuāli izteiktākā struktūra ir redzama attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm, kur ādas veidojumi ir labāk izcelti, pie 850 nm nav redzams veidojums. Kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.1.tabulā.



Y - Normalizētā intensitāte

Y - Normalizētā intensitāte

6.2. att. Brīvprātīgā Nr 1 veidojuma attēli un rādītāji

Kontrasta novērtējumam izmantots relatīvais optiskais blīvums (RoD). Visaugstākais RoD pirmajam brīvprātīgajam ir spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm, kas norāda uz izteiktu struktūru attēlošanu un labāku redzamību. Zemāki RoD ir pie 850 nm, kas nozīmē ļoti zemu kontrastu.

Vislielākā atšķirība starp sigma vērtībām novērojama pie 640 nm, optimālais sigma vērtību pāra (āda/veidojums) līdzsvars ir pie 530/850 nm un 640/850 nm, kas norāda uz vienmērīgu asuma sadalījumu.

6.1.tabula

Optiskā attēla kvalitātes kvantitatīvie rādītāji brīvprātīgajam Nr.1

Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,022	0,020	0,043	0,026	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,024	0,017	0,006	0,009	0,050	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,107	0,086	0,058	0,029	0,167	0,200

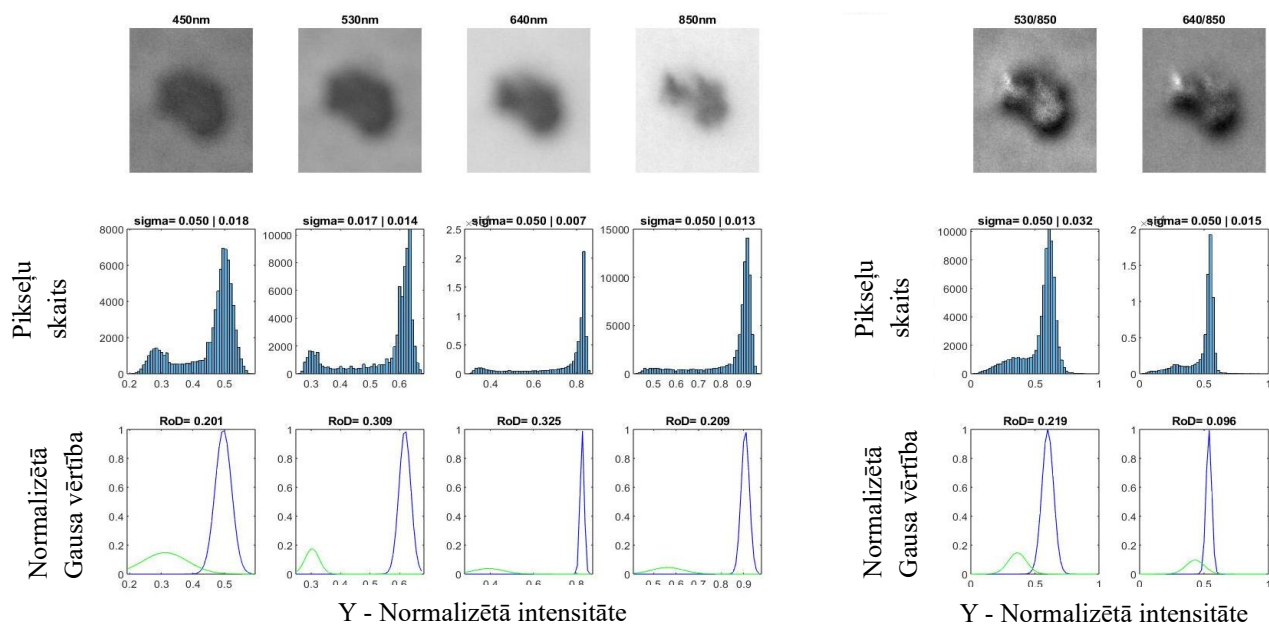
Attēlam pie 850 nm ir augsts vidējais spilgtuma līmenis, bet ar zemu kontrastu un zemu strukturālo detalizāciju, bet pie 450 nm un 530 nm attēli parāda labāko struktūras redzamību, bet ar zemāko spilgtumu.

6.3. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 2

6.3.1. Brīvprātīgā Nr 2 pirmais veidojums (melanoma)

Pētījumā par cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitātes atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva brīvprātīgajam Nr 2 tika veikti divu ādas veidojumu attēlu uzņemšana. 6.3. att. ir apkopoti rezultāti par brīvprātīgā Nr 2 pirmo veidojumu. Kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.2.tabulā.

Skaidras kontūras un objekta forma pēc vizuālā novērtējuma izteiktāk ir pie 640 nm un 530 nm. Lielāks kontrasts ir pie 530 nm un 640 nm, tas nozīmē, ka šie viļņu garumi brīvprātīgajam Nr 2 izceļ ādas veidojuma struktūras. Atšķirībā no brīvprātīgā Nr 1 rezultātiem, kuram veidojums nav redzams pie 850 nm, brīvprātīgā Nr 2 pirmajam veidojumam ir redzama veidojuma kontūras pie 850 nm.



6.3. att. Brīvprātīgā Nr 2 pirmā veidojuma attēli un rādītāji

Lielākās sigma vērtības ir pie 450 nm un 640 nm, kas norāda uz izteiktām ādas struktūrām. Pie 640 nm attēls ir spilgts, bet ar zemāku strukturālo informāciju. Pie 450 nm un 530 nm spektri parāda pietiekamo diapazonu, ar labu detalizētu redzamību.

Tabula 6.2.tabula

Optiskā attēla kvalitātes kvantitatīvie rādītāji brīvprātīgajam Nr 2, veidojums 1

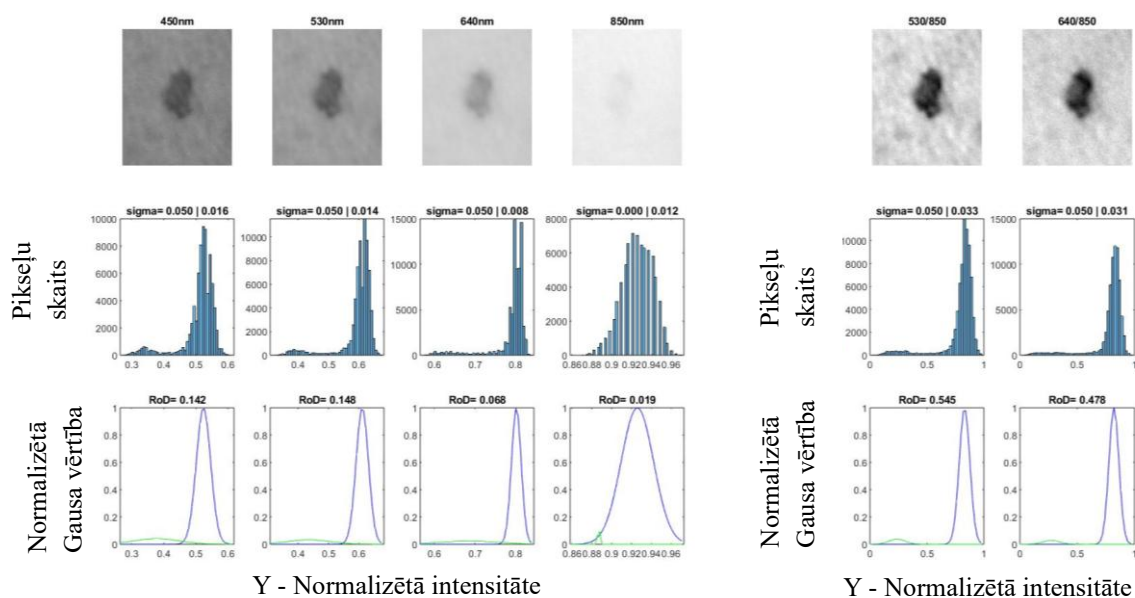
Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,050	0,017	0,050	0,050	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,018	0,014	0,007	0,013	0,032	0,015
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,201	0,309	0,325	0,209	0,219	0,096

6.3.2. Brīvprātīgā Nr 2 otrais veidojums (nēvuss)

6.4. att. ir apkopoti rezultāti par brīvprātīgā Nr 2 otro veidojumu. Kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.3.tabulā.

Spektrālīniju attiecību attēli 530/850 nm un 640/850 nm sniedz augstas kvalitātes vizualizāciju ar veidojuma asām malām un augstu kontrastu salīdzinājumā ar citiem attēliem, tie ir optimāli diagnostikas izvēlei.

Augsts kontrasts arī ir 530/ 850 nm un 640/850 nm – RoD ir attiecīgi 0,545 un 0,478. Šīs vērtības vairākās reizēs pārsniedz 450 nm, 530 nm, 640 nm un 850 nm attēlu vērtības. Zemākais kontrasts ir 640 – 850 nm diapazonā, kur RoD ir mazāks par 0,1.



6.4. att. Brīvprātīgā Nr 2 otrā veidojuma attēli un rādītāji

Augstākais asums ir 530 nm un spektrālīniju attiecību 530/850 nm, 640/850 nm attēlos. Zemākais asums ir 850 nm attēlā. Attēls pie 850 nm ir visgaišākais, bet ar zemāku kontrastu

un detalizāciju. Attēli pie 450-530 nm ir tumšāki, bet ar augstāko strukturālo vērtību. Spektrālīniju attiecību attēli nodrošina labu spilgtuma un kontrasta līdzsvaru.

6.3. tabula

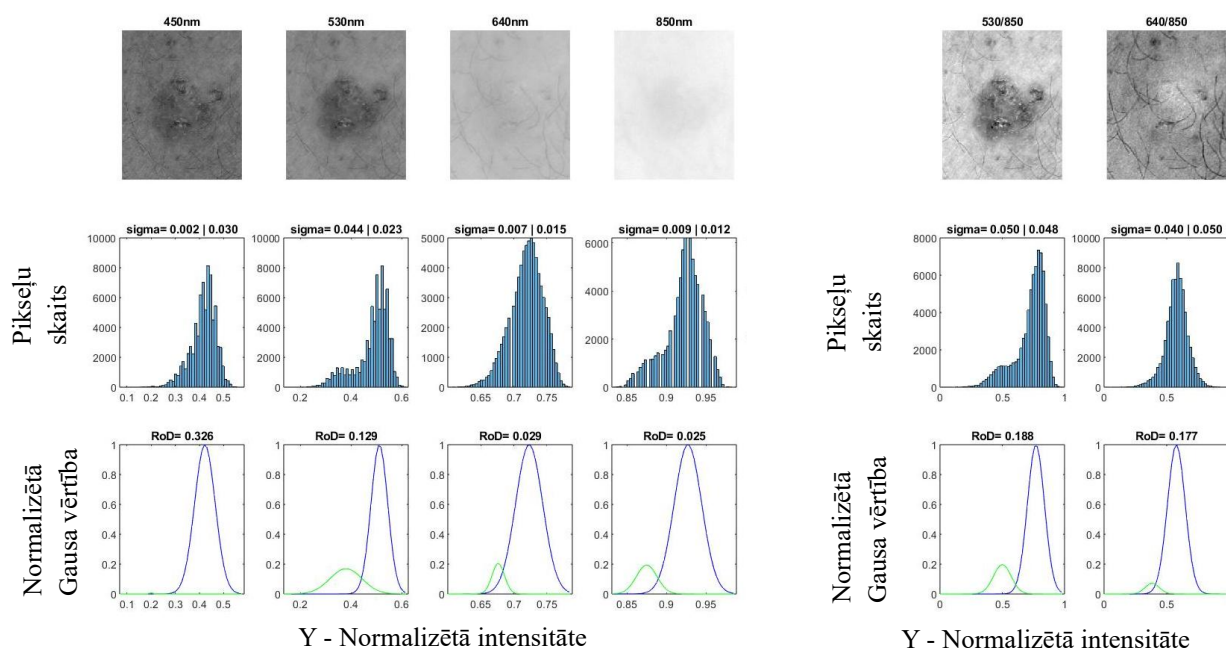
Optiskā attēla kvalitātes kvantitatīvie rādītāji brīvprātīgajam Nr 2, veidojums 2

Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,050	0,050	0,050	0	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,016	0,014	0,008	0,012	0,033	0,031
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,142	0,148	0,068	0,019	0,545	0,478

6.4. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 3 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 3 ādas veidojums ir attēlots spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektrālīniju attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm (6.5. att.), lai izvērtētu ādas struktūras vizuālo kvalitāti, kontrastu, asumu un spilgtumu. Kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.4.tabulā.

Pēc vizuālās kvalitātes visinformatīvāki attēli ir pie 530 nm un spektrālīniju attiecības 530/850 nm, jo veidojumu kontūras ir viegli atšķiramas no apkārtējas ādas. Pie 850 nm un 640 nm ir zemākā kvalitāte un nav redzams veidojuma kontūrs.



6.5. att. Brīvprātīgā Nr 3 veidojuma attēli un rādītāji

Augstākais kontrasts tika novērots pie 450 nm RoD = 0,326, kas norāda uz vislabāko kontrasta vērtību starp veidojumu un apkārtējo ādu. Kontrasta vērtība samazinās pie 530 nm

RoD=0,129, savukārt 850 nm uzrāda viszemāko kontrasta vērtību RoD = 0,025. Spektrālīniju attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm kontrasta vērtība ir augstākā nekā 530-850 nm diapazonam, bet zemāks par 450 nm.

6.4. tabula

Optiskā attēla kvalitātes kvantitatīvie rādītāji brīvprātīgajam Nr.3

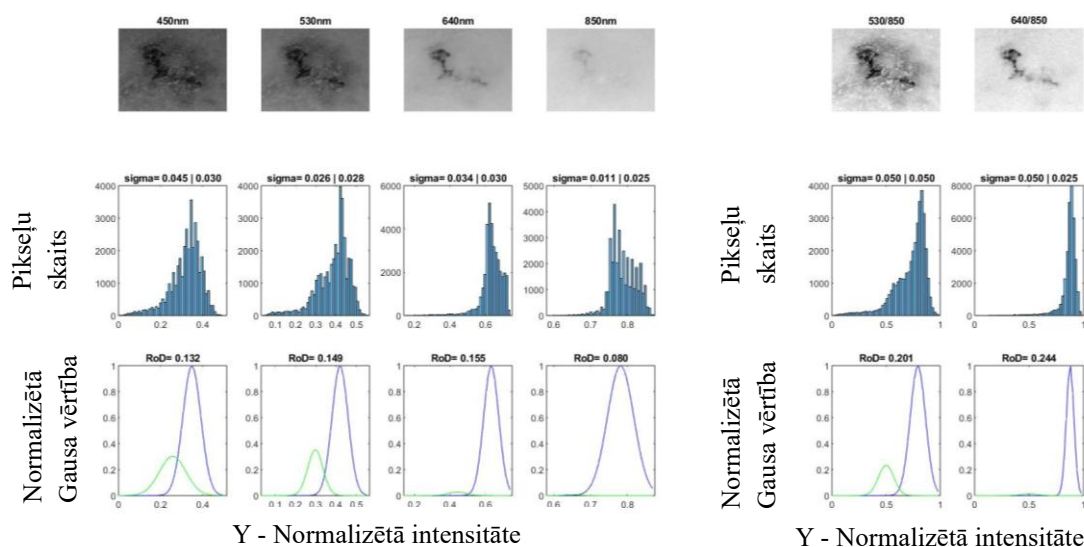
Vērtība	Viļņa garums, nm					
	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,002	0,044	0,007	0,009	0,050	0,040
Sigma (veidojums)	0,030	0,023	0,015	0,012	0,048	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,326	0,129	0,029	0,025	0,188	0,177

Lielāks asums ar mazāko sigmas vērtību ir pie 530 nm, savukārt laba strukturālā detalizācija ir spektrālīniju attiecībās 530/850 nm.

Attēla spilgtums diapazonā 450 - 640 nm ir zemāks, spilgtāki attēli ir iegūti pie 850 nm, bet šajos attēlos ir zemāks kontrasts un attiecīgi zemāka ādas veidojuma redzamība.

6.5. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 4 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 4 ādas veidojums ir attēlots spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm (6.6.att.), lai izvērtētu ādas struktūras vizuālo kvalitāti, kontrastu, asumu un spilgtumu. Kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.5. tabulā.



Y - Normalizētā intensitāte

Y - Normalizētā intensitāte

6.6. att. Brīvprātīgā Nr 4 veidojuma attēli un rādītāji

Lielākais kontrasts ir pie 640 nm $RoD = 0,155$, kā arī 530/850 nm $RoD = 0,201$ un 640/850 nm $RoD = 0,244$. Tas norāda, ka spektrālīniju attiecības būtiski uzlabo redzamību starp ādas veidojumu un apkārtējo ādu. Mazāks kontrasts ir pie 850 nm.

Zemākās sigma vērtības ir pie 850 nm, kas nozīmē augstāku attēla asumu šajā spektrā. Zemākā asuma vērtības ir pie 450 nm. Pie 640 nm sigma ir 0,034, kas ir vidēji ass attēls, bet kontrasts šajā attēla ir visaugstākais.

6.5. tabula

Optiskā attēla kvalitātes kvantitatīvie rādītāji brīvprātīgajam Nr.4

Vērtība	Viļņa garums, nm					
	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,045	0,026	0,034	0,011	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,030	0,028	0,030	0,025	0,050	0,025
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,132	0,149	0,155	0,080	0,201	0,244

Spilgtums 850 nm ir augsts, bet strukturālā detalizācija kā iepriekš ir zema. 450-640 nm diapazonā attēlos spilgtums ir zemāks, bet ir redzamas veidojuma struktūras.

Pēc vizuālās kvalitātes, visizteiktākā redzamība ir 530/850 nm un 640/850 nm spektrālīniju attiecībām, kur ir redzamas gan asinsvadu, gan veidojuma robežas.

6.6. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 5

Brīvprātīgā Nr 5 ādas veidojumu attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 1.pielikumā.

6.6.1. Pirmais veidojums (bazalioma)

Augstākā kontrasta vērtība RoD ir pie 450 nm $RoD = 0,305$ un 530 nm $RoD = 0,337$, kas norāda uz vislielāko atšķirību starp veidojumu un apkārtējo ādu šajos spektrālajos apgaismojumos. Zemāks kontrasts ir pie 850 nm.

Pie 450-530 nm veidojums ir mazāk ass nekā āda, spektrālīniju attiecības 530/850 nm un 640/850 nm ir ar līdzīgu asumu gan veidojumam, gan ādai.

Spilgtums pieaug ar viļņa garumu, 450-530 nm attēli ir tumšāki, bet 850 nm ir salīdzinājumā gaišāks pēc histogrammu nobīdes, tā ir arī iepriekšējos brīvprātīgo attēlos.

Veidojums pēc vizuālā novērtējuma ir izteiktāks pie 450 nm un 530 nm. Pie 850 nm veidojums nav redzams.

6.6.2. Otrais veidojums (melanoma)

Veidojums ir skaidri redzams visos apgaismojuma viļņu garumos. Izteiktas kontūras ir 530/850 nm un 640/850 nm attēlos.

Visaugstākais kontrasts ir pie 640 nm $RoD = 0,362$ un pie 530 nm $Rod=0,319$. Augstas kontrasta vērtības ir arī pie 450 nm un spektru attiecībās 640/850 nm un 530/850 nm. Pie 850 nm ir vairākkārt zemākā kontrasta vērtība $RoD=0,171$.

Lielāks asums ir pie 640 nm un 530 nm, savukārt mazāks asums ir novērojams pie 450 nm un pie 850 nm.

Spilgtuma sadalījums ir novērojams līdzīgs iepriekšējo brīvprātīgo attēliem – ir novērojams pakāpenisks palielinājums no 450 nm līdz 850 nm. Pie 840 nm attēli ir gaišāki, bet ar vajāku kontrastu un asumu.

6.7. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 6

Brīvprātīgā Nr 6 ādas veidojumu attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 2. pielikumā.

6.7.1. Pirmais veidojums (bazalioma)

Vizuāli spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm veidojums ir skaidri atšķirams no apkārtējās ādas, pateicoties augstam kontrastam un spilgtuma līmenim. Šie spektri nodrošina visefektīvāko veidojuma vizualizāciju. Savukārt 850 nm apgaismojumā veidojums ir gandrīz neredzams.

RoD vērtības veidojumam ir augstākas spektrālīniju attiecībās 530/850 nm $RoD = 0,501$ un 640/850 nm $RoD = 0,502$, kas norāda uz labu kontrastu starp veidojumu un apkārtējo ādu. Zilajā un zaļajā spektrā 450 – 530 nm RoD vērtības ir zemākas, kas norāda uz mazāku kontrastu.

Asums pēc sigmas vērtības ādai ir augsts, robežās no 0,015 līdz 0,001, vizizteiktākais asums ir pie 640 nm ar sigmas vērtībām ādai 0,001, veidojumam 0,01. Pie spektrālīniju attiecībām ādas sigmas vērtība paliek zema, kas nozīmē lielāku asumu, bet veidojumam ir samazināts asums.

6.7.2. Otrais veidojums (bazalioma)

Veidojums ir izcelts attēlos ar spektrālo attiecību apgaismojumu 530/850 nm un 640/850 nm, kur vizuāli ir skaidra robeža starp ādu un veidojumu. Veidojuma struktūra nav redzama pie 850 nm.

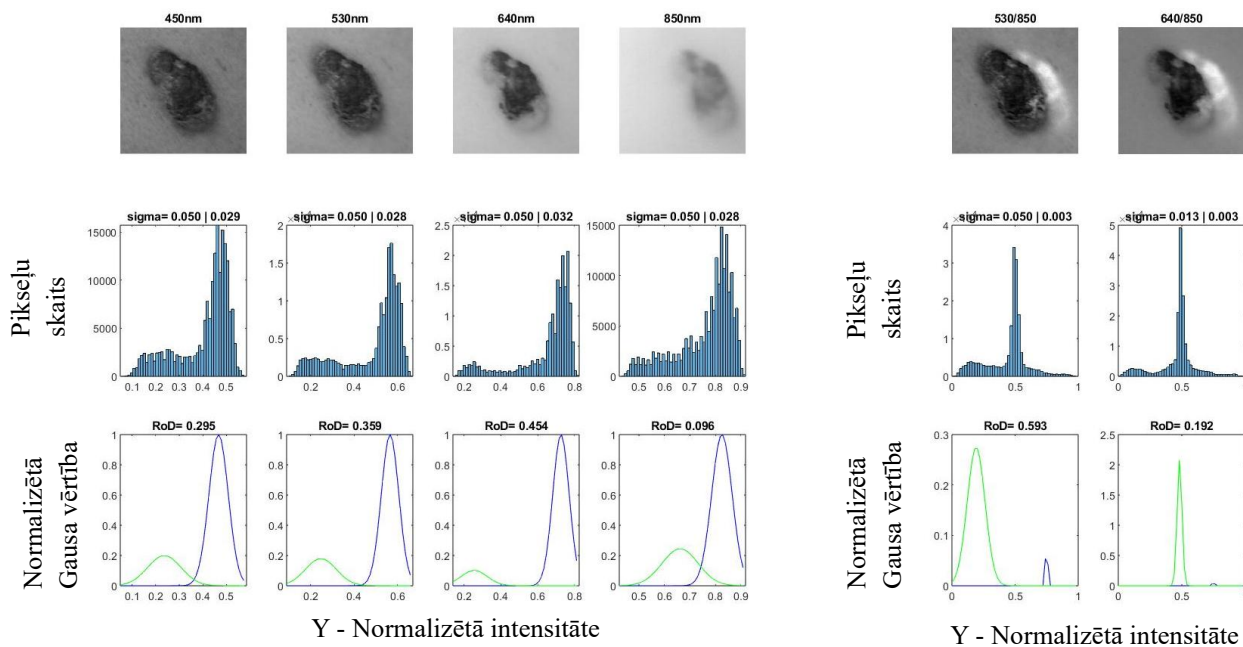
Augstākais kontrasts novērots spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm $RoD=0,185$ un 640/850 nm $RoD = 0,171$. Augsts kontrasts ir pie 450 nm, pie 530 nm, pie 850 nm un 640 nm ir zema kontrasta RoD vērtības, kas norāda par vāju veidojuma redzamību attēlā.

Spilgtuma vērtības palielinās, palielinoties viļņu garumam, tas ir zemāks redzamajā diapazonā un augstāks pie 850 nm, ar vislielāko dinamiku spektrālīniju attiecību attēlos 530/650 nm un 640/850 nm.

Attēls nav ass visos apgaismojumos.

6.8. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 7 (bazalioma ar uzčūlojumu)

Brīvprātīgā Nr 7 ādas veidojums ir attēlots spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm (6.7.att.), lai izvērtētu ādas struktūras vizuālo kvalitāti, kontrastu, asumu un spilgtumu. Kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.6. tabulā.



Y - Normalizētā intensitāte

Y - Normalizētā intensitāte

6.7. att. Brīvprātīgā Nr 7 veidojuma attēli un rādītāji

450 nm, 530 nm un 640 nm attēli sniedz labu strukturālo redzamību ar skaidri pigmentētu veidojumu, spektrālīniju attiecību attēli 530/850 nm un 640/850 nm vizuāli sniedz labu

kontrastu un ir detalizēti. Pie 850 nm veidojums ir mazāks izteikts, bet kopējais spilgtums ir augsts un šis attēls ir noderīgs apakšējo slāņu analīzei.

Asums samazinās no 450 nm līdz 850 nm, palielinoties veidojuma sigmas vērtībai. Attēls ar visizteiktāku asumu ir pie spektrālīniju attiecību attēla 640/850 nm, un pie 530/850 nm, kur veidojumam sigmas vērtība ir 0,003. Lielāka sigma spektrālajos attēlos norāda uz salīdzinoši mazāku asumu.

6.6. tabula

Optiskā attēla kvalitātes kvantitatīvie rādītāji brīvprātīgajam Nr 7

Vērtība	Viļņa garums, nm					
	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,013
Sigma (veidojums)	0,029	0,028	0,032	0,028	0,003	0,003
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,295	0,359	0,454	0,096	0,593	0,192

Visaugstākais kontrasts sasniegts pie 640 nm RoD=0,454, kas liecina par labu veidojuma atšķiršanu šajā apgaismojumā. Augsts kontrasts arī ir pie 450 nm un 530 nm apgaismojuma, spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm kontrasts ir lielāks par 640 nm vērtību RoD=0,593. Šajā attēlā it kontrasta līmenis, kas izteiktāk atdala veidojumu no apkārtējas ādas.

Pie 850 nm attēls ir visgaišākais, bet ar mazāku struktūru kontrastu. Tam trūkst izteiktas veidojuma/āda robežas. Redzamās gaismas spektrā (450-640 nm) veidojums ir skaidri redzams.

6.9. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 8 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 8 ādas veidojumu attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 3.pielikumā.

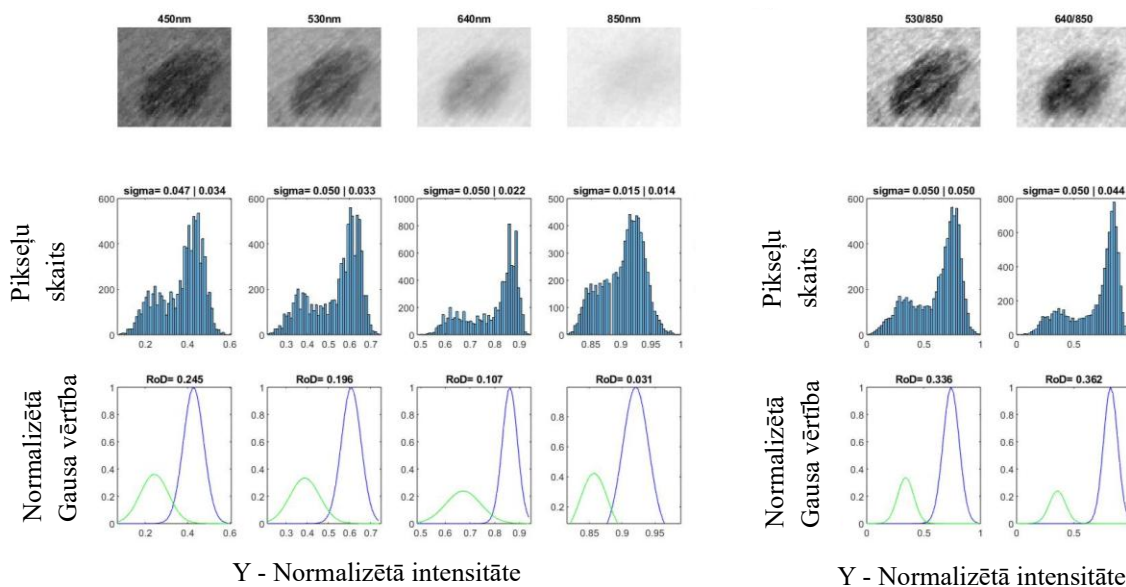
Attēli redzamajā spektrā (450-640 nm) ir vizuāli informatīvi, ar redzamām kontūrām. Pie 850 nm attēla spilgtums ir augsts, bet strukturālā ādas informācija ir mazāk izteikta. Attiecību spektri 530/850 nm un 640/850 nm nodrošina vislabāko struktūru izcelšanos. Spilgtuma vērtības pieaug no 450 nm līdz 850 nm.

Lielākais kontrasts ir pie spektrālīniju attiecībām 530/850 nm RoD= 0,123 un 640/850 nm RoD=0,136. Viszemākais kontrasts ir pie 850 nm, līdz ar to zemākā detalizācija.

Pēc sigmas vērtības asākie attēli ar izteiktu veidojuma struktūru ir iegūti pie 450 nm un 640 nm, kur veidojuma sigma ir diapazonā 0,010-0,028.

6.10. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 9 (lentigo maligna)

Brīvprātīgā Nr 9 ādas veidojums ir attēlots spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm (6.8.att.), lai izvērtētu ādas struktūras vizuālo kvalitāti, kontrastu, asumu un spilgtumu. Kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.7.tabulā.



6.8. att. Brīvprātīgā Nr 9 veidojuma attēli un rādītāji

Veidojums redzamā gaismas spektrā (450 – 640 nm) ir labi saskatāms, ar skaidrām robežām. Attēli pie 530 nm un 640 nm ir ar labu struktūrālo kvalitāti. Attiecību bildēs 530/850 nm un 640/850 nm vizuāli veidojums ir visizteiktākais, tas skaidri kontrastē ar ādu un ir labāk atšķirama forma. Pie 850 nm struktūra ir izplūdusi.

6.7. tabula

Optiskā attēla kvalitātes kvantitatīvie rādītāji brīvprātīgajam Nr.9

Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,047	0,050	0,050	0,015	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,034	0,033	0,022	0,014	0,050	0,044
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,245	0,196	0,107	0,031	0,336	0,362

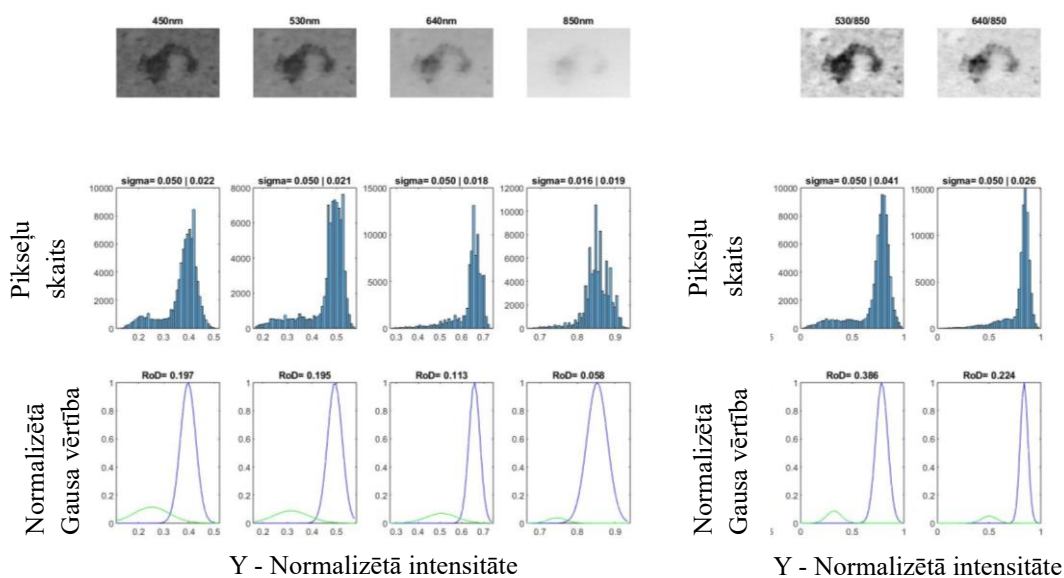
Kontrasta analīze uzrāda, ka visaugstākā kontrasta RoD vērtība ir spektrālīniju attēlu attiecībām 530/850 nm un 640/850 nm, attiecīgi RoD =0,336 un RoD=0,362. Arī pie visām redzamās gaismas spektrālīnijām veidojums ir izteikts un ir zemāks kontrasts, bet vairāk par 0,1. Pie 850 nm RoD vērtība ir vairākkārt zemāka, kas liecina par zemu kontrastu.

Pēc histogrammu sadalījuma redzamajā spektrā (450 – 640 nm) spilgtums pieaug, pie 850 nm spilgtuma sadalījums ir šaurāks, bet struktūras ir mazāk izteiktas. Spektru attiecībās spilgtuma līkne ir ar skaidru piķi un labu kontrastu starp ādu un veidojumu.

Zemākā sigma veidojumam ir pie 640 nm, kas norāda uz augstāko veidojuma detalizāciju, šajā attēlā veidojums ir asākais. Arī 450 nm un 530 nm ir ar labu asumu diapazonā 0,033-0,034, kas liecina par redzamu, bet mazāk izteiktu struktūru. Pie 850 nm ir viszemākā sigma vērtība gan ādai, gan veidojumam un, ja attēlā būtu kontūras, tas būtu augsts asums. Bet šajā attēlā struktūras ir mazāk atšķiramas, sigma vērtības raksturo vienmērīgā pelēkuma sadalījumu. Pie 640 nm ir augstākā sigma, bet ir augsta kontrasta vērtība un asuma uztvere ir izteiktāka.

6.11. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 10 (melanoma)

Brīvprātīgā Nr 10 ādas veidojums ir attēlots spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm (6.9.att.), lai izvērtētu ādas struktūras vizuālo kvalitāti, kontrastu, asumu un spilgtumu. Kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.8.tabulā.



6.9. att. Brīvprātīgā Nr 10 veidojuma attēli un rādītāji

Vizuāli visizteiktāk bojājumu struktūra ir novērojama spektrālo attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm, kur kontūras ir izteiktas, pateicoties labam kontrastam. Pie 450 – 530 nm veidojums ir skaidri redzams, bet ir mazāk izteikta struktūra. Pie 850 nm struktūra ir izplūdusi un bez izteiktām robežām.

6.8. tabula

Optiskā attēla kvalitātes kvantitatīvie rādītāji brīvprātīgajam Nr.10

Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,050	0,050	0,050	0,016	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,022	0,021	0,018	0,019	0,041	0,026
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,197	0,195	0,113	0,058	0,386	0,224

Spilgtums pēc histogrammām pakāpeniski palielinās garāku viļņa garumu virzienā, īpaši pie 850 nm attēls kļūst gaišāks un vienmērīgāks. Redzamajā diapazonā 450-640 nm spilgtuma sadalījums ir plašāks.

Visaugstākais kontrasts ir attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm, attiecīgi $RoD=0,386$ un $RoD=0,224$, kas norāda uz kontrastainu audu robežu izcelšanu šajās spektru kombinācijās. Pie 450 nm kontrasta vērtība $RoD = 0,197$, 530 nm $RoD=0,195$ un 640 nm $RoD=0,113$. Pie 850 nm kontrasts strauji samazinās līdz 0,058.

Asuma rādītāji variē atkarībā no viļņa garuma. Augstākais asuma līmenis pēc sigma vērtības ir pie 850 nm, bet šajā attēlā nav kontūru, un mazāka sigma liecina par vienmērīgāku pelēko toņu pāreju bez asām kontūrām, savukārt pie 450-640 nm sigma vērtības ir augstākas, kas norāda uz zemāku asumu, robežas starp ādu un veidojumu ir izplūdušas.

6.12. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 11 (nēvuss)

Brīvprātīgā Nr 11 ādas veidojumu attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 4.pielikumā.

Veidojums ir saskatāms 450-640 nm spektrālajos attēlos, ar skaidri redzamu robežu. Pie 850 nm veidojums ir vāji redzams, savukārt 530/850 nm un 640/850 nm spektrālīniju attiecību attēlos struktūras ir skaidri atdalītas no ādas.

Lielākais kontrasts novērojams spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm, kur RoD vērtības attiecīgi ir 0,508 un 0,487. Zemāka kontrasta vērtība ir pie 850 nm, kur veidojums saplūst ar ādu. Redzamās gaismas kanālos kontrasts ir mazāks par spektrālīniju attiecību attēliem.

Pēc spilgtuma augstākās vērtības ir pie 850 nm, redzamās gaismas diapazonā 450-640 nm attēli ir vizuāli tumšāki, bet nodrošina labāku struktūru izšķiršanu.

Visaugstākais asums ir pie 640 nm, kur attēlā ir labi redzamas kontūras un struktūras, arī pie 450 nm un 530 nm attēliem ir izteikts asums, kontūras ir skaidri redzamas, pie 850 nm attēls ir miglaināks, malas nav asas.

6.13. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 12 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 12 ādas veidojumu attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 5. pielikumā.

Veidojuma forma ir redzama visos viļņu garumos, bet izteiktāk pie 530/850 nm, ir struktūrēts veidojums un apkārtēja āda. Pie 850 nm veidojuma malas ir izplūdušas.

Visaugstākais kontrasts ir novērojams pie 530/850 nm $RoD=0,649$, tas izceļ veidojuma kontūras uz ādas fona, ir labi atšķiramas struktūras attēlā. Pie 450 nm un 530 nm, ir redzamas veidojuma kontūras un forma. Pie 850 nm kontrasts ir ļoti zems $RoD=0,042$.

Spilgtums pieaug pakāpeniski no 450 nm līdz 850 nm. Pie 450-530 nm attēls ir tumšāks un detalizēts.

Lielākais asums veidojumam ir pie 640 nm, kur sigmas vērtība ir 0,016, bet ir redzamas veidojuma kontūras, pie 850 nm ir mazāka sigma vērtība, bet ir grūti atšķirama veidojuma struktūra un kontūras.

6.14. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 13

Brīvprātīgā Nr 13 divu ādas veidojumu attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 6.pielikumā.

6.14.1. Pirmais veidojums (bazalioma)

Veidojums ir skaidri redzams pie 450-640 nm, īpaši pie 530 nm. Pie 850 nm kontūras kļūst blāvākas, bet joprojām redzamas. Spektrāllīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm redzams vislielākais vizuālais kontrasts ar labām kontūrām un detalizāciju.

Augsts kontrasts ir pie 450 nm $RoD=0,285$ nm un pie 530 nm $RoD=0,254$, norādot uz labu veidojuma atšķiršanu no apkārtējas ādas fona. Pie 640 nm kontrasta vērtība samazinās, bet ievērojami zemāks kontrasts ir pie 850 nm $RoD=0,060$ un struktūrāla atšķirība starp veidojumu un apkārtējo ādu samazinās. Spektrāllīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm kontrasts ir vidējā līmenī 0,206 un 0,187, ir nodrošināts vizuāli izteiktu atšķirību.

Visasākā veidojuma struktūra ir pie 530 nm. Lielākā fona detalizācija ir pie 450-530 nm. Spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm sigma ir līdzīga, tāpēc ir vizuāli sabalansēta, bet ar mazāku asumu struktūra.

Spilgtuma vērtības palielinās no 450 nm līdz 850 nm. Pie 850 nm ir gaišāks attēls, ir uzlabota dziļāko struktūru vizualizācija, bet samazinās virsmas struktūru asums. Spektru attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm spilgtums ir līdzsvarots, sniedzot izteiktu struktūras informāciju.

6.14.2. Otrais veidojums (nēvuss)

Veidojuma kontūras ir saskatāmas pie 450 nm, 530 nm un pie 640/850 nm, kur veidojums ir nošķirts no apkārtējas ādas. Pie 850 nm redzamība ievērojami samazinās, veidojuma struktūra ir izplūdusi.

Kontrasts visos spektrālajos diapazonos liecina par izteiktu atšķirību starp veidojumu un apkārtējo ādu, augstākais kontrasts ir pie 450 nm $RoD=0,425$. Redzamajā gaismā līdz 530 nm kontrasts samazinās līdz 0,231. Spektrālīniju attiecību attēliem 530/850 nm un 640/850 nm kontrasts ir augsts $RoD=0,109$ un 0,414.

Veidojums ass ir pie 640 nm, tas ir optimālais apgaismojums ādas izšķiršanai, kur sigma ir zema un struktūra ir asa. Pie 530 nm ir simetriskas sigma vērtības ar vidējo asumu, pie 850 nm ir vismazākā sigma veidojumā, bet vizuāli attēls ir izplūdis.

Visgaišākais attēls ir pie 850 nm, kas padara veidojumu mazāk redzamu. Pie 450 nm un 530 nm ir vislabākā redzamība, veidojums skaidri izceļas, attēlam pie 640 nm ir vidējais spilgtums starp ādu un veidojumu.

6.15. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 14 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 14 divu ādas veidojumu attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 7.pielikumā.

Vizuāli izteiktākās veidojuma kontūras ir pie 450 nm, 530 nm un vairāk pie spektrālīniju attiecības 530/850 nm. Pie 850 nm veidojums ir mazāk redzams. Attiecību spektrālīnijas 530/850 nm un 640/850 nm pastiprina struktūru attēlojumu, padarot veidojumu un to kontūru izteiktāku salīdzinājumā ar atsevišķo spektrālīniju.

Visaugstākais kontrasta rādītājs ir pie attiecību spektra 530/850 nm $RoD=0,472$. Salīdzinoši augsts kontrasts ir arī pie 640/850 nm $RoD=0,141$ un pie 530 nm $RoD=0,213$. Pie 850 nm kontrasts ir ievērojami zemāks 0,029, kas atbilst vājai veidojuma redzamībai attēlā.

Pie 530 nm ir ļoti augsts asums ādas zonai, ar minimālo sigmas vērtību 0,001, veidojuma kontūras skaidri izdalās, ir struktūrēta forma, pie 450 nm nav skaidru kontūru, bet ir redzama struktūra, ar 640 nm asums samazinās. Attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm veidojuma kontūras ir miglainas, sigma vērtības tuvu pie maksimālas vērtības.

Spilgtums pieaug, virzoties no 450 nm līdz 850 nm apgaismojumam. Pie 850 nm āda izskatās gaišāka un veidojums kļūst mazāk pamanāms. 450 nm un 530 nm veidojums ir tumšāks uz ādas fona.

6.16. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 15 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 15 ādas veidojuma attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 8.pielikumā.

Veidojums ir redzams, bet salīdzinoši vāji atšķirams no ādas pie 450-640 nm. Pie 850 nm kontrasts samazinās un veidojums nav redzams. Spektrāllīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm ir labāk vizualizētas veidojuma kontūras un forma, līdz ar to tie informatīvākie diagnostiskai interpretācijai.

Lielākais kontrasts ir pie 530/850 nm un 640/850 nm, attiecīgi $RoD=0,151$ un $RoD=0,192$, kas norāda uz to, ka veidojums ir labi atšķirams no apkārtējās ādas šajos attēlos.

Vislielākais asums ir pie 530 nm, šajā attēlā ir asa pāreja no ādas zonas uz veidojumu. Pie 450 nm veidojuma kontūras ir izplūdušas. Ādas zonā sigma ir nedaudz lielāka visos kanālos, bet robežas starp ādu un veidojumu ir pietiekami izteiktas tikai pie 530 nm.

Spilgtums palielinās no 450 nm līdz 850 nm. Pie 850 nm spilgtums ir augsts, bet zema kontūru detalizācija. Pie 530/850 nm un 640/850 nm ir ievērojami uzlabota veidojuma kontūru redzamība.

6.17. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 16 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 16 ādas veidojuma attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 9.pielikumā.

Pie 450-530 nm veidojums ir redzams kā tumšs plankums ar skaidrām malām. Pie 640 nm veidojums kļūst izplūdis, bet ir vēl atšķirams, pie 850 nm struktūra ir blāva un mazāk redzama. Spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm izceļ ādas struktūru.

Lielākais kontrasts starp ādu un veidojumu ir pie 450 nm $RoD=0,129$ un pie 530 nm $RoD=0,116$, kur veidojuma struktūra ir skaidri redzama un labi atšķirama uz ādas fona. Kontrasts pakāpeniski samazinās garākajos viļņu garumos, pie 850 nm $RoD=0,053$, struktūra saplūst ar fonu. Spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm ir ar augstām kontrasta vērtībām $RoD=0,184$ un $RoD=0,166$.

Pie 450 nm gan āda, gan veidojums ir relatīvi līdzīgs asuma līmenī, kontūras ir nedaudz izplūdušas. Pie 530 nm veidojums ir nedaudz izplūdušāks nekā āda. Pie 640 nm ir samazināta asuma vērtība, kas norāda uz struktūras saplūšanu ar ādas fonu. Pie 850 nm asums vēl samazinās salīdzinājumā ar 640 nm.

Spilgtums pieaug ar viļņa garumu, īpaši pie 850 nm, kur veidojums nav atšķirams no ādas. Pie 450-530 nm apgaismojuma veidojums ir tumšāks un labāk izceļas uz ādas fona.

6.18. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 17 (nēvuss)

Brīvprātīgā Nr 17 ādas veidojuma attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 10.pielikumā.

Veidojums ir redzams, ar skaidri iezīmētām kontūrām un labu kontrastu pie attiecības 530/850 nm. Redzamajā spektrā 450-640 nm veidojums ir redzams, bet strukturāli grūtāk izšķirams, pie 850 nm veidojums saplūst ar ādu.

Visaugstākais kontrasta rādītājs $RoD=0,377$ ir pie 530/850 nm, kas vislabāk izceļ veidojuma struktūru. Otrs augstākais ir pie 640/850 nm. Redzamajā spektrā kontrasta vērtība ir zema, pie 850 nm veidojuma kontūras nav izšķiramas ar kontrasta vērtību $RoD=0,050$.

Spilgtums palielinās sākot no 450 nm līdz 850 nm. Veidojums ir mazāk redzams augstāku viļņu garumu spektrā, izņemot 530/850 nm un 640/850 nm, kur spilgtuma balanss ļauj labāk atšķirt veidojumu no apkārtējas ādas.

Asums samazinās no 450 nm līdz 640 nm, jo pakāpeniski palielinās veidojuma sigma. Pie 850 nm ir zema sigma, bet nav veidojuma kontūras, tāpēc maza sigma nozīmē, ka pikseļu spilgtums maz mainās un attēls ir vienmērīgs. Šajā attēla tā ir mazāk detalizēta zona, kur veidojums saplūst ar ādu.

6.19. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 18 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 18 ādas veidojuma attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 11.pielikumā.

Pie 450 nm un 530 nm veidojums ir redzams, bet ar izplūdušām kontūrām. Pie 640 nm struktūras kļūst mazāk skaidras. Pie 850 nm ir redzamas tikai kontūras, bet nevar atšķirt robežas. 530/850 nm un 640/850 nm attēlos veidojums ir redzams un atšķirams, kontūras ir skaidras un augsts kontrasts. Attēlos spilgtums palielinās ar viļņa garuma pieaugumu.

Visaugstākais kontrasts starp ādas un veidojuma zonām ir pie 530/850 nm $RoD=0,124$ un 640/850 nm $RoD=0,350$, kas liecina par labu struktūru atšķiršanu. Pie 640-850 nm RoD vērtības ir zem 0,015, kas liecina par zemu kontrastu.

Attēli pēc sigmas vērtības ir neasi pie 450-850 nm, pie 450 nm kontūras ir vispārīgi redzamas, tāpat kā pie 530 nm.

6.20. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 19 (bazalioma)

Brīvprātīgā Nr 19 ādas veidojuma attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 12.pielikumā.

Veidojuma kontūras pie 450 nm un 530 nm ir maz redzamas, pie 640 – 850 nm kontūras nav redzamas. Vizuāli veidojums ir izteikts pie 530/850 nm, kur veidojums ir redzams ar izteiktām kontūrām un skaidru atšķiršanu no apkārtējās ādas.

Augstākais kontrasts ir pie 530/850 nm un 640/850 nm, attiecīgi $RoD=0,186$ un $RoD=0,128$. Diapazonā 450-850 nm RoD vērtības ir zem 0,1, kas norāda uz zemu kontrastu lielākajā daļā apgaismojuma kanālos.

Visaugstākais spilgtuma līmenis ir pie 850 nm, kas vizuāli padara attēlu gaišāku, bet nav redzamas struktūras.

Asuma sigma vērtības 450-850 nm diapazonā ir augstas, norādot uz zemu asumu, pie 640 nm un 850 nm ir mazas sigmas vērtības, bet nav redzamas veidojuma kontūras, struktūras saplūst. Pie attiecībām 530/850 nm un 640/850 nm arī ir zema strukturālā redzamība.

6.21. Pētījumu rezultāti brīvprātīgajam Nr 20

Brīvprātīgā Nr 20 divu ādas veidojumu attēli spektrālajos apgaismojumos 450 nm, 530 nm, 640 nm, 850 nm, kā arī spektra attiecībās 530/850 nm un 640/850 nm, kontrasta un sigma vērtības ir apkopotas 13. pielikumā.

6.21.1. Pirmais veidojums (nēvuss)

Redzamajā spektrā 450-640 nm veidojuma kontūras ir skaidri izdalītas, pie 850 nm tās kļūst blāvākas, mazāk redzama struktūra. Pie 530/850 nm un 640/850 nm veidojuma kontūras ir redzamas. Spilgtums pieaug līdz ar viļņa garumu, pie 850 nm āda kļūst vizuāli gaišāka, veidojuma kontūras kļūst mazāk izteiktas.

Kontrasta vērtības ir augstākās pie 450-530 nm, kur attiecīgi $RoD=0,260$ un $RoD=0,229$. Kontrasta vērtība strauji samazinās pie 850 nm, kur $RoD=0,019$. Spektrālīniju attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm ir visaugstākās kontrasta vērtības, kontūras visizteiktākās.

Pēc asuma pie 450 nm ādai ir augsts asums, veidojumam sigma ir 0,024, kas nodrošina labu kontūru atšķiršanu. Pie 530 nm ādai joprojām ir augsts asums, kontūras joprojām labi izdalītas, sigma ir 0,021, pie 640-850 nm un attiecību spektros ādai saglabājas augsts asums.

6.21.2. Otrs veidojums (bazalioma)

Veidojums ir skaidri redzams pie 450 nm un 530 nm, struktūras redzamība samazinās pie 640 nm. Kontūru redzamība spektru attiecību attēlos 530/850 nm un 640/850 nm ir augsta, vizuāli optimāla attēlošana tiek sasniegta pie 640 nm un spektru attiecībām.

Visaugstākais kontrasts ir pie 640/850 nm, kur $RoD=0,231$ un pie 530/850 nm, kur $RoD=0,207$, kur veidojums ir labi izcelts uz ādas fona. No redzamās gaismas RoD augstākais ir pie 450 nm $RoD=0,122$. Pie 850 nm kontrasta vērtība RoD strauji samazinās līdz 0,016.

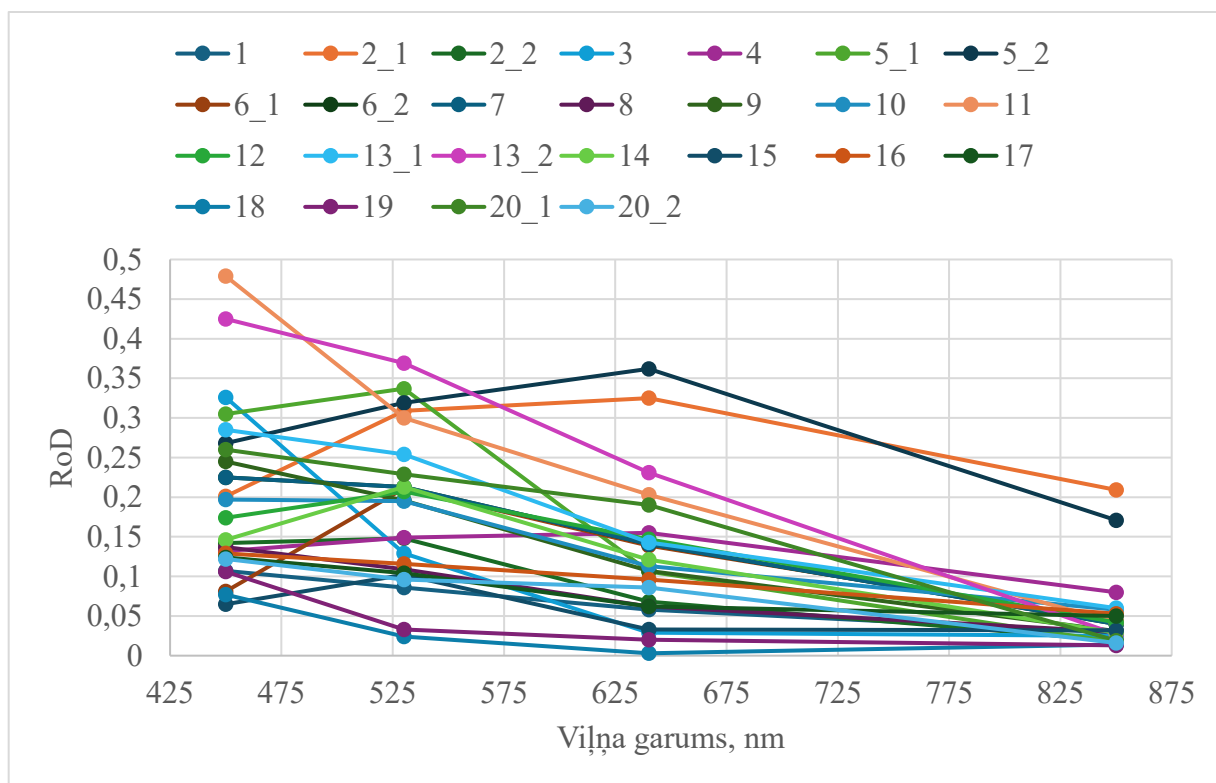
Spilgtums pieaug ar viļņa garuma pieaugumu, pie 850 nm fons kļūst spilgts, tiek samazināts veidojuma kontrasts.

7. CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBAS NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA PĒTĪJUMA REZULTĀTU ANALĪZE

7.1. Cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kontrasta atkarība no apgaismojuma spektrālā sastāva

Lai novērtētu attēlu kontrastu cilvēka ķermeņa ādas optiskajiem attēliem dažādos apgaismojumos, tika izmantots relatīvais optiskais blīvums. Ar šo parametru var kvantitatīvi raksturot cik audi absorbē vai atstaro gaismu pie dažādiem viļņu garumiem, kas tieši ietekmē kontrasta līmeni attēlā.

7.1. att. attēlotas relatīva optiskā blīvuma vērtības 20 brīvprātīgajiem viļņu garumos no 450 nm līdz 850 nm.



7.1.att. Relatīvā optiskā blīvuma vērtības 20 brīvprātīgajiem

Lielākajai daļai pacientu RoD vērtības pakāpeniski samazinās, virzoties no īsviļņu 450 nm uz garāko viļņu 850 nm apgaismojumu. Tas liecina par palielināto izkliedi, pieaugot gaismas iespiešanās dziļumam ādā.

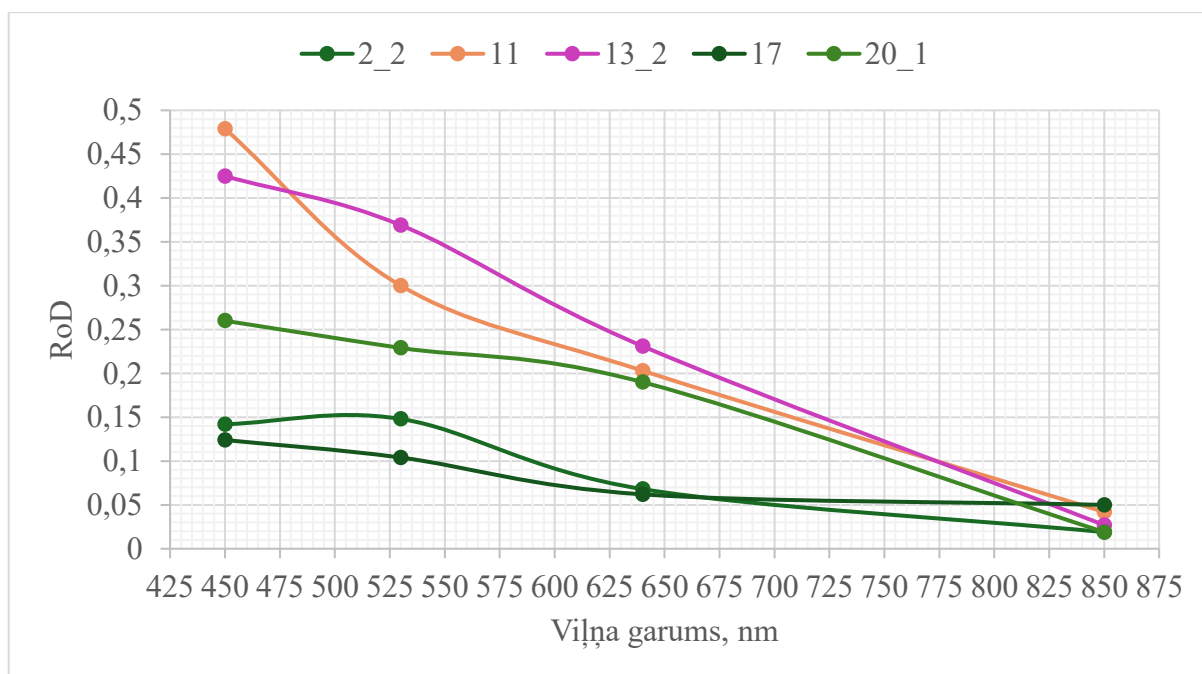
Pie 450 nm ir novērojamas augstas RoD vērtības, kas nozīmē, ka gaisma ir spēcīgi absorbēta, īpaši virspusējo pigmentu (melanīna) un asins komponentu (hemoglobīna) dēļ. Pie šī viļņa garuma ir augstākās kontrasta vērtības un izteiktākas struktūras attēlā.

Pie 640 nm RoD vērtības ir zemākas nekā pie 450 nm, pie 850 nm RoD vērtības ir viszemākās gandrīz visiem pacientiem, kas norāda uz to, ka gaisma iekļūst dziļāk, bet izkliedes dēļ informācija par virspusējiem slāņiem tiek zaudēta, attēls kļūst mazāk kontrastains.

Kontrasta analīze pēc RoD vērtības parāda, ka kontrasta vērtība ir vislielākā pie īsākiem viļņu garumiem, pie 640 nm viļņa garuma kontrasta vērtība ir augsta un tai ir diagnostikas vērtība, jo tiek nodrošināta redzamība gan virspusējiem, gan dziļiem audiem.

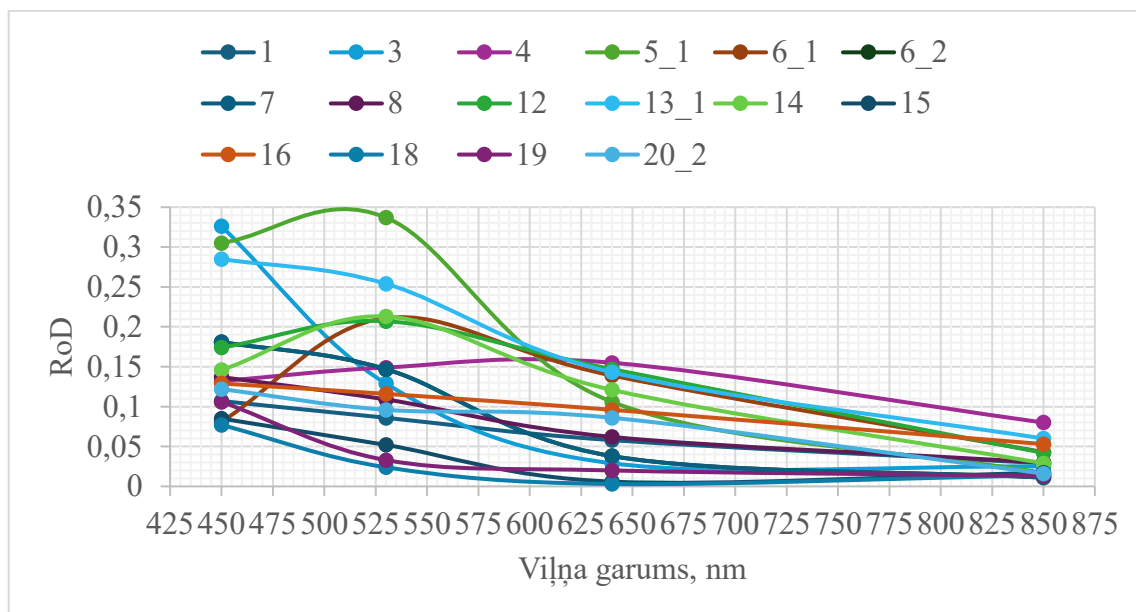
Diviem veidojumiem RoD vērtības palielinās pie 450 – 640 nm, veidojumam 2_1 un 5_2. Šie veidojumi ir melanoma, atšķiras ar lielāku kontrastu. RoD vērtības parāda, ka melanomai atšķiras ādas optiskās īpašības, tas var būt spektrālās diagnostikas kritērijs, kas palīdzētu atšķirt melanomu no citiem ādas veidojumiem.

7.2. att. attēlotas relatīvā optiskā blīvuma vērtības nēvusu veidojumiem. Visām piecām līknēm samazinās RoD vērtība ar viļņa garuma palielināšanu. Visaugstākās RoD vērtības ir pie 450 nm, viszemākās pie 850 nm, kas atbilst fizikālajām īpašībām – lielāks viļņa garums dziļāk iekļūst ādā un mazāk izceļ ādas virsmu.



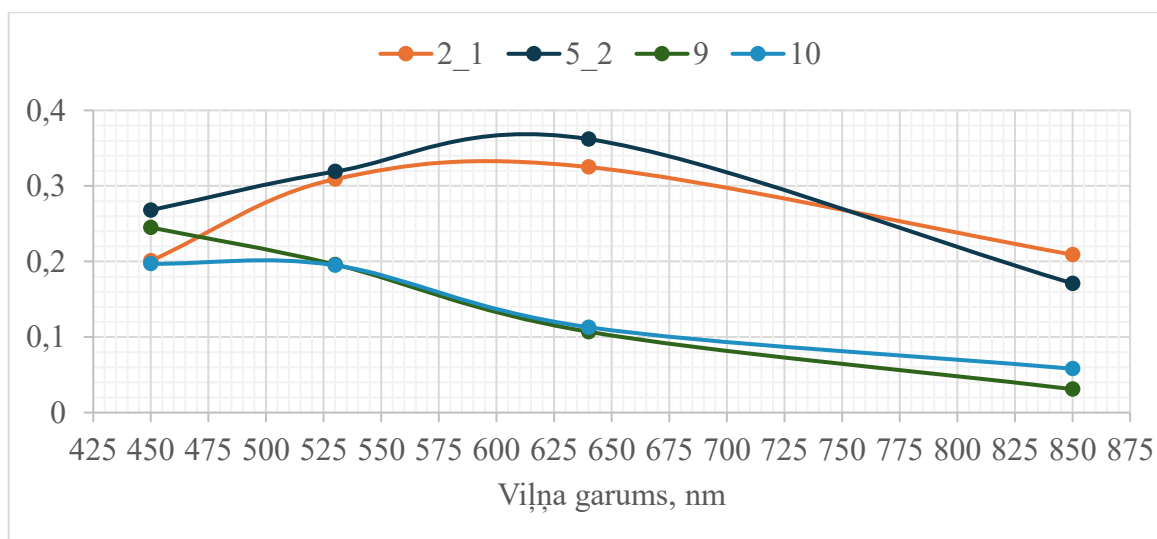
7.2.att. Relatīvā optiskā blīvuma vērtības 5 nēvusiem

7.3. att. ir parādītās bazaliomu kontrasta vērtības 450 – 850 nm apgaismojumā. Bazaliomu attēlu kontrasta vērtības ir atšķirīgas starp brīvprātīgajiem un pašiem veidojumiem. Kontrasts ir augstāks pie 450 nm un 530 nm, pie 640 nm RoD vērtības jau ir 0,003 – 0,147 diapazonā, pie 850 nm visas līknes tuvinās zemām RoD vērtībām, zemākām par 0,1. RoD vērtību līkņu atšķirības ir saistītas ar bazaliomu formu, jo forma ietekmē gaismas absorbciju un izkliedi, kā arī daļa no bazaliomām bija ar čūlu, kas arī ietekmē attēla kvalitātes parametrus.



7.3.att. Relatīvā optiskā blīvuma vērtības 16 bazaliomām

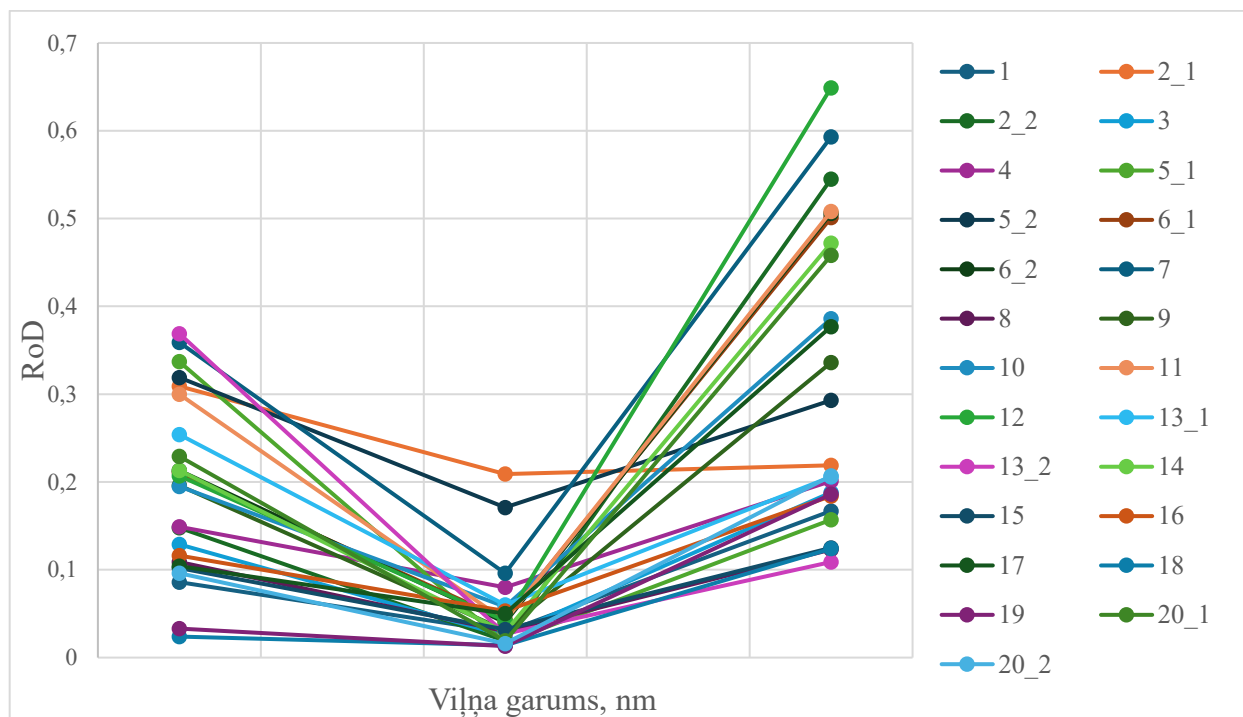
7.4. att. attēlo melanomas RoD vērtības. Salīdzinājumā ar nēvusiem un bazaliomām, melanomas uzrāda atšķirīgu RoD tendenci.



7.4.att. Relatīvā optiskā blīvuma vērtības 4 melanomām

Divas augšējās līknes 2_1 un 5_2 uzrāda izteiktu RoD vērtības pieaugumu līdz maksimumam pie 640 nm, ar vērtībām virs 0,300, pēc šīs vērtības sasniegšanas ir nevis straujš vērtību samazinājums, bet pakāpenisks. Līkņu dažādība liecina par dažādu audu struktūru un audzēja tipu.

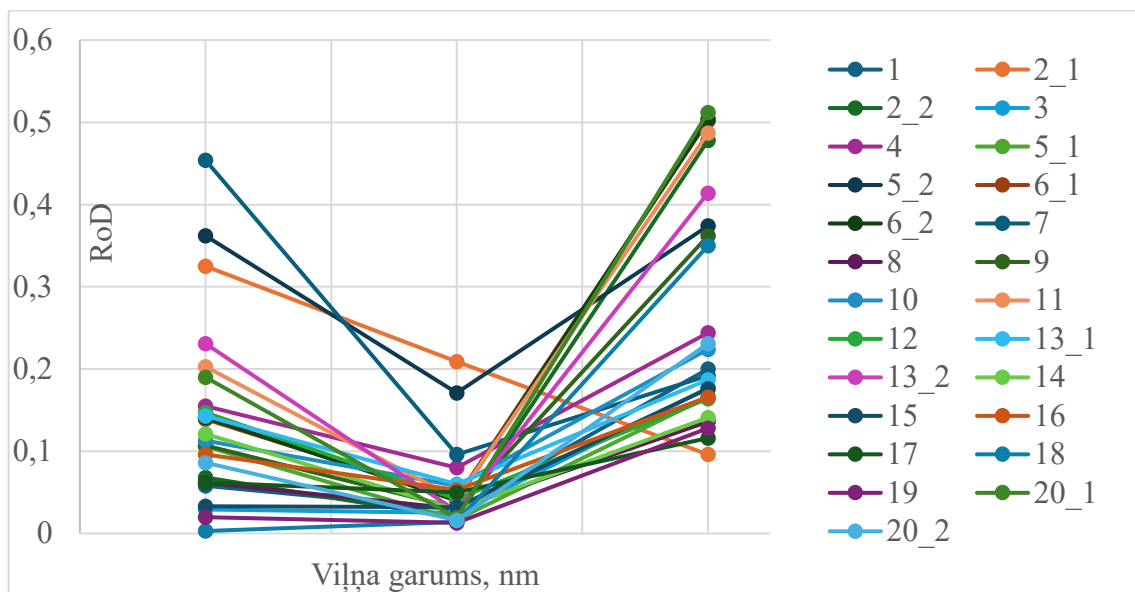
7.5.att. attēlotas relatīvā optiskā blīvuma vērtības 20 brīvprātīgajiem viļņu garumos no 530 nm, 850 nm un spektru attiecība 530/850 nm.



7.5.att. Relatīvā optiskā blīvuma vērtības 20 brīvprātīgajiem pie 530 nm, 850 nm un 530/850 nm

Vairākiem brīvprātīgajiem ir izteikts minimums ap 850 nm un straujš pieaugums pie 530/850 nm. Pie 530 nm gaismu absorbē melanīns un hemoglobīns, līdz ar to izceļas virspusējās ādas struktūras, pie 850 nm gaisma iekļūst dziļāk un tiek vājāk absorbēta, ādas struktūras var būt neredzamas. Attiecībā 530/850 nm palielina attēlu kontrastu.

7.6. att. attēlotas relatīvā optiskā blīvuma vērtības 20 brīvprātīgajiem viļņu garumos 640 nm, 850 nm un spektru attiecība 640/850 nm.



7.6. att. Relatīvā optiskā blīvuma vērtības 20 brīvprātīgajiem pie 640 nm, 850 nm un 640/850 nm

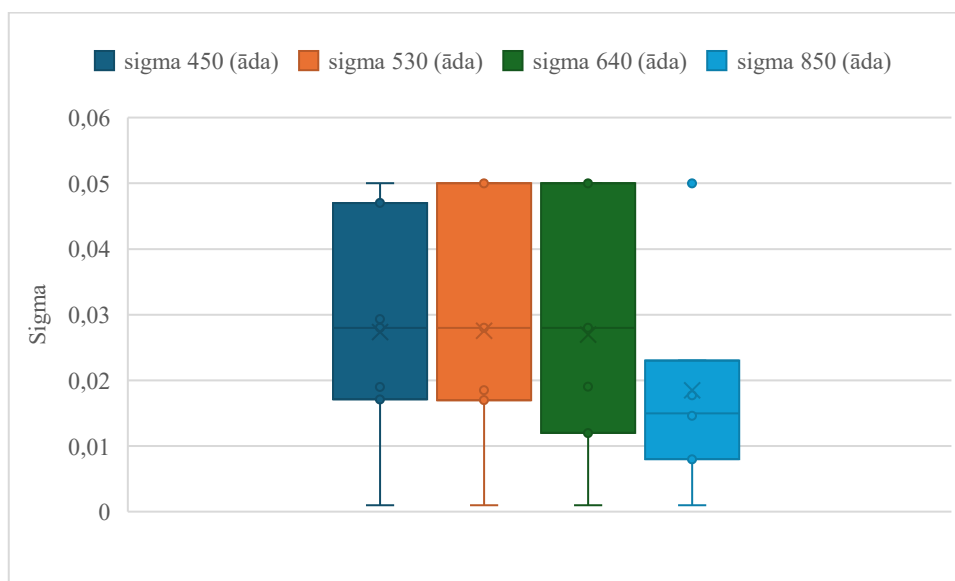
Vairākiem brīvprātīgajiem ir izteikts minimums ap 850 nm un straujš pieaugums pie 640/850 nm. 640/850 nm nodrošina attēlu palielinātu kontrastu, spektrālīniju attiecība 640/850 nm nodrošina kontrastainu attēlu diagnostiskajai redzamībai.

Pie 640/850 nm attiecības RoD vērtības ir mazākas salīdzinājuma ar 530/850 nm attiecību, 530/850 nm nodrošina pigmentētu veidojumu vislielāko kontrastu.

7.2. Cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla asuma atkarība no apgaismojuma spektrālā sastāva

Lai novērtētu cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla asuma atkarību no apgaismojuma spektrālā sastāva, tika analizēts attēla asums pēc sigma vērtības viļņu garumos 450 nm, 530 nm, 640 nm un 850 nm. Asums tika novērtēts kā kontūru izplūšanas pakāpe – jo zemāka sigma vērtība, jo asāks attēls.

7.7.att. ir ādas asuma sigma vērtību diagramma viļņu garumiem 450 – 850 nm. Pie 450 nm vidējā sigma vērtība bija 0,02932, norāda uz salīdzinoši lielu asuma vērtību izkliedi starp brīvprātīgo datiem, tas nozīmē, ka attēlu asums pie 450 nm ir mainīgs un to var izskaidrot ar spēcīgu gaismas izkliedi ādas virskārtā un gaismas absorbciju pigmentētajos veidojumos.



7.7.att. Ādas asuma vērtības 20 brīvprātīgajiem

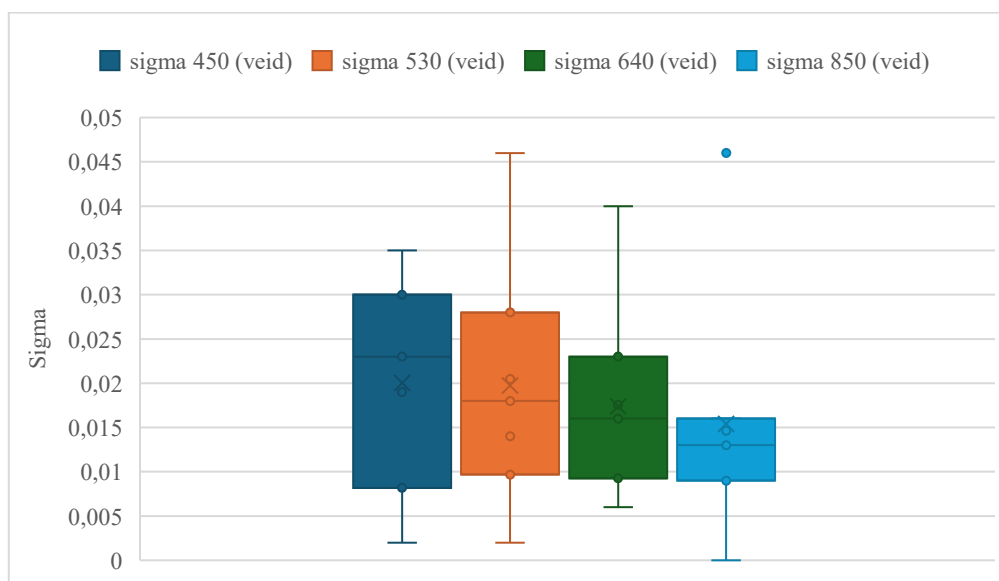
Pie 530 nm attēlu asuma sigmas vērtība ir līdzīga kā pie 450 nm, ar vidējo $\sigma=0,02828$. Attēla kvalitāte ir vienmērīgāka, tā joprojām ir atkarīga no ādas struktūras un pigmentācijas.

Pie 640 nm ir vidēja $\sigma=0,02856$, tas norāda uz augstu struktūras mainību starp brīvprātīgajiem un lielāko kontrasta iespējamību. Šis viļņa garums ir diagnostiski informatīvs.

Pie 850 nm sigma vērtības būtiski samazinās ar vidējo vērtību 0,01772. Attēli šajā spektrā kļūst vienmērīgāki un mazāk izplūduši, bet ar mazāku struktūras attēlošanu, jo gaisma iekļūst dziļāk un mazāk atspoguļo virsmas ādu.

7.8.att. ir veidojuma asuma sigma vērtību diagramma viļņu garumiem 450 – 850 nm. Pie 450 nm vidējā sigma vērtība ir 0,02304, ir vidēja izkliede starp brīvprātīgo asuma vērtībām. Veidojumu attēli ir asi, bet struktūru redzamība ir atšķirīga, kas var būt saistīts ar ādas pigmentācijas īpašībām.

Pie 530 nm vidēja sigma samazinājās līdz 0,02048. Daļai pacientu veidojuma robežas ir mazāk izteiktas, iespējams, tas ir saistīts ar dziļākiem kapilārajiem slāņiem vai hemoglobīna absorbcijas intensitāti.



7.8. Veidojuma asuma vērtības 20 brīvprātīgajiem

Pie 640 nm ir zemākā vidējā sigma 0,01756. Šajā spektrā veidojumu kontūras ir redzamas gandrīz visiem no 20 brīvprātīgajiem, viļņa garums nodrošina labāku struktūras diagnostisko attēlu. Pie 850 nm sigma vidējā vērtība turpina samazināties līdz 0,01464.

Ādas sigmas vērtības ir augstākas nekā veidojumu sigma vērtība, kas nozīmē, ka veidojumu kontūras ir asākas par apkārtējo ādu. Gan ādas, gan veidojumu zonā 640 nm nodrošina optimālāko asuma attēlu, pie 850 nm tiek zaudēts kontrasts un struktūras attēlošana, kas ir svarīga un var ietekmēt diagnostisko precizitāti.

7.3. Vizuālā attēlu novērtēšana

Papildus kvantitatīvajiem parametriem, tika veikta arī kvalitatīva vizuālā novērtēšana, kurā katram attēlam tika analizēta veidojuma kontūras redzamība pēc viļņa garumiem 450-850 nm. Apkopojums ir 14.pielikumā.

Novērtējums tika veikts pēc principa “ir” – robeža skaidri redzama, “nav” – robeža nav redzama vai daļēji ir – robeža ir nenoteikta. Pēc apkopotiem datiem tabulā pie 450 nm visiem brīvprātīgajiem veidojuma kontūras ir redzamas, šis viļņa garums nodrošina virspusējo struktūru izcelšanu.

Pie 530 nm robežas bija redzamas arī visos gadījumos, norādot uz izteiktu kontrastu un labu veidojumu izcelšanu.

Vizuālā attēlu novērtēšana

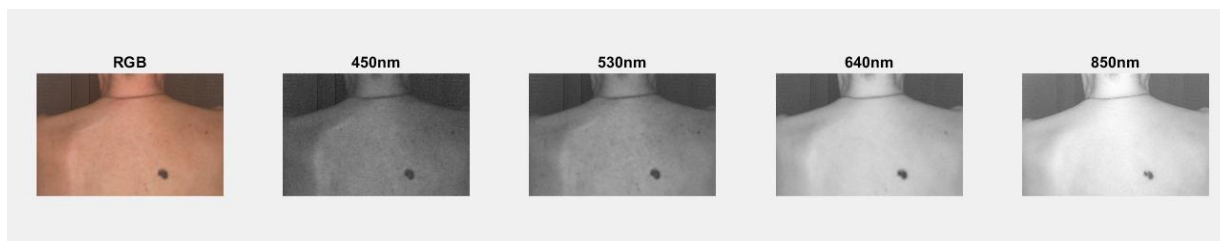
Brīvprātīgais	450 nm	530 nm	640 nm	850 nm
1	ir	ir	ir	nav
2 1	ir	ir	ir	ir
2 2	ir	ir	ir	ir
3	ir	ir	nav	nav
4	ir	ir	Daļēji ir	Daļēji ir
5 1	ir	ir	ir	nav
5 2	ir	ir	ir	ir
6 1	ir	ir	ir	ir
6 2	ir	ir	ir	nav
7	ir	ir	ir	ir
8	ir	ir	ir	ir
9	ir	ir	ir	ir
10	ir	ir	ir	Daļēji ir
11	ir	ir	ir	nav
12	ir	ir	ir	ir
13 1	ir	ir	ir	nav
13 2	ir	ir	ir	ir
14	ir	ir	ir	nav
15	ir	ir	nav	nav
16	ir	ir	ir	nav
17	ir	ir	Daļēji ir	nav
18	ir	ir	ir	nav
19	ir	ir	nav	nav
20 1	ir	ir	ir	nav
20 2	ir	ir	ir	nav

Pie 640 nm trijiem brīvprātīgajiem – Nr 3, Nr 15 un Nr 19 nav redzama veidojuma kontūra, un brīvprātīgajiem Nr 4 un 17 ir daļēji redzama veidojuma kontūra. Pie 850 nm ir samazinājies redzamo veidojumu skaits, vairāk nekā desmit brīvprātīgajiem veidojuma kontūra nav redzama. Tas ir pamatots arī ar kvantitatīvo analīzi, jo šajā spektrā daļai attēlu nav vizuālas informācijas par veidojumu.

Pie 850 nm melanīns un hemoglobīns absorbē ļoti maz gaismas, gan veidojums, gan apkārtējā āda izskatās līdzīgi un nav kontrasta, robeža starp veidojumu un apkārtējo ādu vizuāli pazūd. Ir brīvprātīgie, kuriem attēlos ir redzamas veidojuma kontūras, tas nozīmē, ka ir bioloģiski un optiski faktori, kas šo veidojuma kontūru padara redzamu. 850 nm gaisma iekļūst dziļāk nekā 450-640 nm gaisma, ja veidojums nav tikai virspusē, bet ir arī dziļāk ādā, tam būs kontūras un tas atšķirsies no apkārtējiem audiem, rezultātā veidojuma kontūra paliek redzama. Ir veidojumi, piemēram, bazalioma, kurai ir fibrotiska struktūra, kas atšķiras ar augstāku

izkliedi un atstarojumu arī pie 850 nm, attēlā veidojums būs bez pigmentācijas, bet ar veidojuma kontūru.

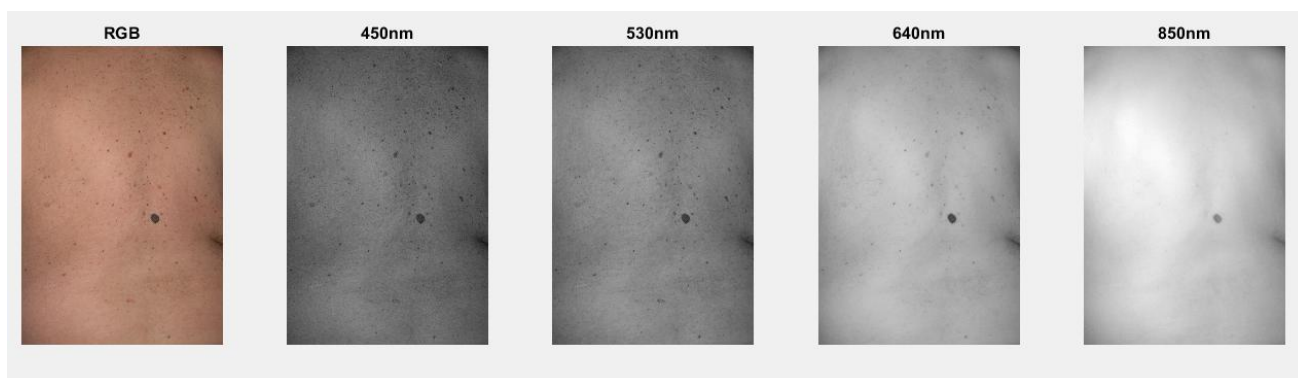
7.9.att. ir brīvprātīga Nr 2 muguras zona, attēlā ir redzams *RGB* attēls, četri menbalti ādas veidojumi, uzņemti ar dažāda viļņa garuma apgaismojumu.



7.9.att. Muguras zona brīvprātīgajam Nr 2 ar ādas veidojumiem

Pie 450 nm ādas veidojumu daudzums vizuāli ir maksimāls, pie 530 nm veidojumu skaits samazinās, ja salīdzināt ar 450 nm, pie 640 nm veidojumu kopējais skaits samazinās, salīdzinot ar 450 nm un 530 nm. Pie 850 nm paliek redzams tikai viens ādas veidojums - melanoma.

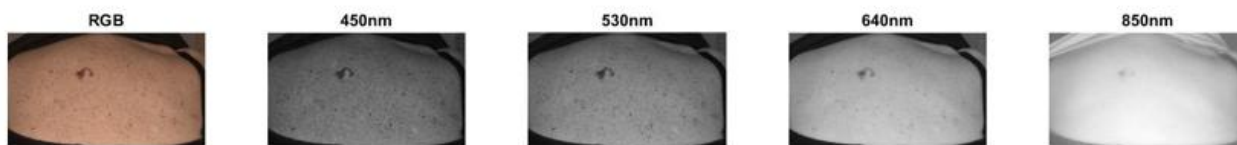
7.10.att. ir brīvprātīga Nr 5 muguras zona, attēlā ir redzams *RGB* attēls, četri menbalti ādas veidojumi, uzņemti ar dažāda viļņa garuma apgaismojumu.



7.10.att. Muguras zona brīvprātīgajam Nr 5 ar ādas veidojumiem

Pie 450 nm ādas veidojumu daudzums vizuāli ir maksimāls, pie 530 nm veidojumu skaits samazinās, ja salīdzināt ar 450 nm, pie 640 nm veidojumu kopējais skaits samazinās, salīdzinot ar 450 nm un 530 nm. Pie 850 nm paliek redzams tikai viens ādas veidojums - melanoma.

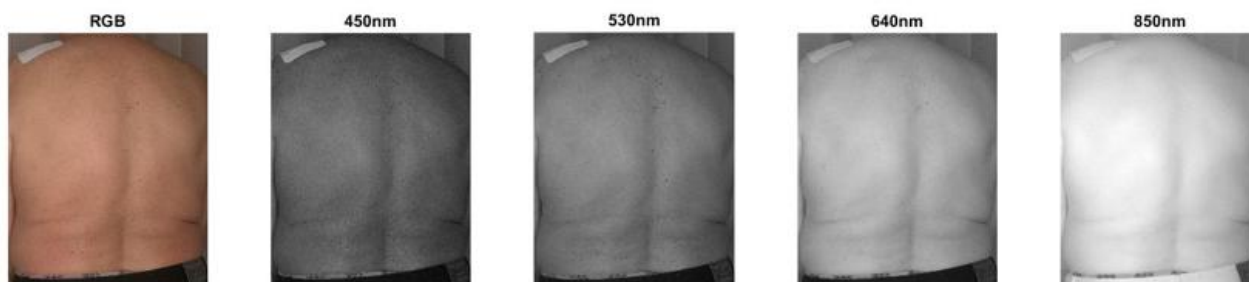
7.11.att. ir brīvprātīga Nr 10 muguras zona, attēlā ir redzams *RGB* attēls, četri menbalti ādas veidojumi, uzņemti ar dažāda viļņa garuma apgaismojumu.



7.11.att. Muguras zona brīvprātīgajam Nr 10 ar ādas veidojumiem

Pie 450 nm ādas veidojumu daudzums vizuāli ir maksimāls, pie 530 nm veidojumu skaits samazinās, ja salīdzināt ar 450 nm, pie 640 nm veidojumu kopējais skaits samazinās, salīdzinot ar 450 nm un 530 nm. Pie 850 nm paliek redzams tikai viens ādas veidojums - melanoma. Šī spektrālā analīze parāda ādas veidojumu struktūru dažādos ādas dziļumos.

7.12.att. ir brīvprātīga Nr 6 muguras zona, attēlā ir redzams *RGB* attēls, četri menbalti ādas veidojumi, uzņemti ar dažāda viļņa garuma apgaismojumu.



7.12.att. Muguras zona brīvprātīgajam Nr 6 ar ādas veidojumiem

Pie 450 nm ādas veidojumu daudzums vizuāli ir maksimāls, pie 530 nm veidojumu skaits samazinās, ja salīdzināt ar 450 nm, pie 640 nm veidojumu kopējais skaits samazinās, salīdzinot ar 450 nm un 530 nm. Pie 850 nm nav redzami veidojumi.

SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS PAR CILVĒKA ĶERMEŅA ĀDAS OPTISKĀ ATTĒLA KVALITĀTES ATKARĪBU NO APGAISMOJUMA SPEKTRĀLĀ SASTĀVA

Secinājumi

1. Cilvēka ķermeņa ādas optiskā attēla kvalitāte ir atkarīga no apgaismojuma spektrālā sastāva.
2. Attēla spilgtums ir visaugstākais pie 850 nm apgaismojuma, kas ir saistīts ar to, ka absorbējošie komponenti (melanīns un hemoglobīns) absorbē mazāk, notiek gaismas atstarošanas atpakaļ uz kameru un tas rada lielāku spilgtumu attēlā.
3. Lielākais kontrasts tika novērots pie 530/850 nm. 530 nm viļņu garums ir jutīgāks pret hemoglobīnu, salīdzinot ar 850 nm, šo divu viļņu garumu attēlu kombinācija nodrošina vislielāko kontrastu.
4. Asums ir augstāks pie 450 nm un 530 nm, jo gaisma ar šiem viļņu garumiem neieklūst dziļi audos, un veido asākas veidojuma kontūras.
5. Labākā vizuālā kvalitāte tika novērota pie 530 nm un 640 nm, kā arī kombinējot tos ar 850 nm.
6. Apgaismojot cilvēka ķermeņa ādu ar viļņa garumiem 450 – 850 nm diapazonā, no 20 brīvprātīgo 25 veidojumiem vairāk par 50% nav redzami pie 850 nm, pie 850 nm ir vizuāli redzamas melanomas kontūras un pats veidojums, pārējie ādas veidojumi nav redzami vai to kontrasts ir zems.
7. Melanomas vizuālā izcelšana ir visefektīvākā, ja apvieno vairākus viļņa garumus – zilo, zaļo un infrasarkanā. Šie trīs viļņu garumi nodrošina veidojuma kontrastu, nodala robežas, multispektrālā pieeja ļauj vienlaicīgi analizēt gan pigmentāciju, gan struktūras dziļumu.

Rekomendācijas

1. Optimizēt programmatūru melanomas analīzei, pamatojoties uz spektrāliem datiem;
2. Iekļaut optiskā attēla kvalitātes rādītāju analīzi diagnostikā;
3. Turpināt pētījumu ar lielāku pacientu skaitu un izmantojot citus apgaismojuma gaismas viļņus.

PUBLICITĀTE

Iegūtie rezultāti tika prezentēti konferencē:

Latvijas Universitātes 81. starptautiskā zinātniskā konference (15.pielikums)

Iegūti rezultāti tiks prezentēti:

Tentative Scientific Program of the Joint 20th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and the 24th Polish Conference on Biocybernetics and Biomedical Engineering (NBC 2025 & PCBBE 2025) (16. pielikums)

LITERATŪRAS AVOTU SARAKSTS

1. World Health Organization. *Melanoma of skin* [tiešsaiste]. [skatīts 2024.g.10.oktobrī]. Pieejams: <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/cancers/16-melanoma-of-skin-fact-sheet.pdf>
2. American Cancer Society. *Skin Cancer Facts & Figures* [tiešsaiste]. [skatīts 2024.g. 10 .oktobrī]. Pieejams: <https://www.cancer.org/research/acs-research-highlights/skin-cancer-research-highlights.html>
3. American Cancer Society. *Skin Cancer* [tiešsaiste]. [skatīts 2024.g.10.oktobrī]. Pieejams: <https://www.cancer.org/cancer/types/skin-cancer.html>
4. Marghoob, A., Scope, A. *The Complexity of Diagnosing Melanoma* [tiešsaiste]. Journal of Investigative Dermatology, 2009 [skatīts 2024.g.12.oktobrī]. Pieejams: https://www.researchgate.net/publication/23659843_The_Complexity_of_Diagnosing_Melanoma
5. Esteva, A., Kuprel, B. *Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks* [tiešsaiste]. Nature, 2017 [skatīts 2024.g.12.oktobrī]. Pieejams: <https://www.nature.com/articles/nature21056>
6. Korotkov, K., Quintana J. *An Improved Skin Lesion Matching Scheme in Total Body Photography* [tiešsaiste]. IWWW J Biomed Health, 2019 [skatīts 2024.g.12.oktobrī]. Pieejams: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30004894/>
7. Canfield. *Vectra 3D Whole Body 3D Imaging* [tiešsaiste]. [skatīts 2024.g.14.oktobrī]. Pieejams: <https://www.canfieldsci.com/imaging-systems/vectra-wb360-imaging-system/>
8. Fotofinder. *ATBM master 4th Generation* [tiešsaiste]. [skatīts 2024.g.30.oktobrī]. Pieejams: <https://www.fotofinder.de/en/technology/total-bodydermoscopy/bodystudio-atbm/master>
9. Rubins, A. *Dermatoveneroloģija*. 2.izd. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 2020. 592 lpp. ISBN: 978-9934-8607-1-3.
10. Thomas, C., Hagedom, M., Gebert, G. *Haut*. Shattauer. 345
11. Vasariņš, P., Miltiņš, A. 2. izd. *Klīniskā dermatoveneroloģija*. Rīga: Apgāds Zvaigzne ABC, 1993. 476 lpp.
12. Slimibas.lv *Āda* [tiešsaiste]. Slimibas.lv mājaslapa [skatīts 2024.g.30.oktobrī]. Pieejams: [Āda – Slimības.lv](https://www.slimibas.lv)

13. Teibe, U. *Optiskā starojuma veidi, to noteikšana un aprēķināšana* [tiešsaiste]. RSU fizikas katedra [skatīts 2024.g.30.oktobrī]. Pieejams:https://www.rsu.lv/sites/default/files/imce/Zin%C4%81tnes%20departaments/DDVVI/2010_seminari/01072010_Optiskais_starojums_Riga/03_OS_pamati_Teibe.pdf
14. Anderson, R.R., Parrish, J.A. *The optics of human skin* [tiešsaiste]. The Journal of Investigative Dermatology, 1981 [skatīts 2024.g.30.oktobrī]. Pieejams:http://php.iai.hiig-vd.ch/~lzo/biomed/refs/Optics%20of%20human%20skin%20-%201981_Anderson.pdf
15. Kohen, E., Santus, R., Hirschberg, J.G. *Photobiology*. Academic Press, 1995. 506 lpp. ISBN 9780124177550. e-ISBN 9780080538822.
16. Barata, C., Rotemberg, V., Codella, N. *A reinforcement learning model for AI-based decision support in skin cancer* [tiešsaiste]. Nature Medicine, 2023 [skatīts 2024.g.4.novembrī]. Pieejams: <https://www.nature.com/articles/s41591-023-02475-5>
17. Syed, S. *Improved Skin Cancer Detection with 3D Total Body Photography: Integrating AI Algorithms for Precise Diagnosis* [tiešsaiste]. [skatīts 2024.g.4.novembrī]. Pieejams:https://www.researchgate.net/publication/382097806_Improved_Skin_Cancer_Detection_with_3D_Total_Body_Photography_Integrating_AI_Algorithms_for_Precise_Diagnosis
18. Zhao, M., Kawahara, J. *Skin 3D: Detection and Longitudinal Tracking of Pigmented Skin Lesions in 3D Total-Body Textured Meshes* [tiešsaiste]. Medical Image Analysis, 2021 [skatīts 2024.g.11.novembrī]. Pieejams:https://www.researchgate.net/publication/357428857_Skin3D_Detection_and_Longitudinal_Tracking_of_Pigmented_Skin_Lesions_in_3D_Total-Body_Textured_Meshes
19. Vīksna, L., Sidhoma, E., Bantaуска, D. *Dermatoloģijas pamati*. Rīga: Medicīnas apgāds, 2021. 295 lpp. ISBN: 9789934573248.
20. Understanding the Importance of Dermatoscopy [tiešsaiste]. [skatīts 2024.g.11.novembrī]. Pieejams:<https://www.dermdoctorsnva.com/blog/1137872-understanding-the-importance-of-dermatoscopy/>
21. Oakley, A. *Wood lamp skin examination* [tiešsaiste]. DermNet, 2014 [skatīts 2024.g.11.novembrī]. Pieejams:<https://dermnetnz.org/topics/wood-lamp-skin-examination>

22. Chang, C.-I. *Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification*. [skatīts 2024.g.11.novembrī]. Pieejams: https://www2.umbc.edu/rssipl/book_chapter/bookpreface.html
23. Govender, M., Chetty, K.T., Bulcock, H. *A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies* [tiešsaiste]. Water SA, 2007 [skatīts 2024.g.11.novembrī]. Pieejams: https://www.researchgate.net/publication/228781235_A_review_of_hyperspectral_remote_sensing_and_its_application_in_vegetation_and_water_resource_studies
24. Shaw, G., Manolakis, D. *Detections algorithms for hyperspectral imaging applications* [tiešsaiste]. IEEE Signal Processing Magazine, 2002 [skatīts 2024.g.11.novembrī]. Pieejams: <https://ieeexplore.ieee.org/document/974724/authors>
25. Bioucas-Dias, J.B., Plaza, A., Camps-Valss, G., Scheunders, P. *Hyperspectra Remote Sensing Data Analysis and Future Challenges* [tiešsaiste]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 2013 [skatīts 2024.g.15.novembrī]. Pieejams: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6555921/metrics>
26. Fauvel, M., Tarabalka, Y., Benediktsson, J.A, Chanussot, J. *Advances i Spectral-Spatial Classification of Hyperspectral Images* [tiešsaiste]. IEEE, 2012 [skatīts 2024.g.15.novembrī]. Pieejams: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6297992/metrics>
27. Cui, R. *Deep Learning in Medical Hyperspectral Images: A Review* [tiešsaiste]. Sensors, 2022 [skatīts 2024.g.15.novembrī]. Pieejams: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/24/9790>
28. Richards, J.A., Jia, X. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction* [tiešsaiste]. Springer, 2006. Pieejams: https://books.google.lv/books?id=xFG-99738poC&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
29. Schowengerdt, R.A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* [tiešsaiste]. Academic Press, 2007. Pieejams: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123694072/remote-sensing>
30. Ošiņa, I. *Spektrālīniju attēlveidošana bezkontakta ādas diagnostikai un viltojumu atklāšanai*. Promocijas darbs. Rīga; [LU], 2023. 124.lpp.
31. Spigulis, J., Elste L. *Single snapshot RGB multispectral imaging at fixed wavelengths: proof of concept* [tiešsaiste]. SPIE 8937, 2014. Pieejams: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/8937/1/Single->

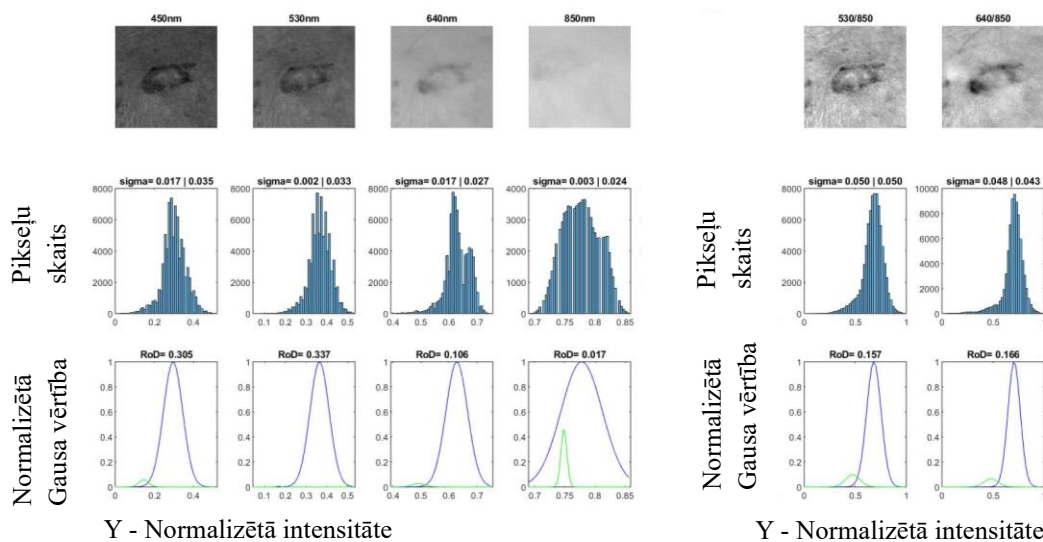
[snapshot- RGB- multispectral- imaging- at- fixed- wavelengths- - proof/10.1117/12.2039442.short?tab=ArticleLinkFigureTable](#)

32. Fotofinder. *Original user manual* [tiešsaiste]. Fotofinder Systems, 2024 [skatīts 2024.g.20.novembrī].Pieejams:https://www.fotofinder.de/fileadmin/user_upload/documentation/IFU_FotoFinder_Universe_3.5_20240626_EN.pdf
33. Canfield. *Vectra 3D DermaGraphic* [tiešsaiste]. [skatīts 2024.g.20.novembrī]. Pieejams:<https://www.namfield.com/img/device/WB360/VECTRAWB360brochure.pdf>
34. S. Kottner, M. M. Schulz, F. Berger, M. Thali, D. Gascho. *Beyond the visible spectrum – applying 3D multispectral full-body imaging to the VirtoScan system* [tiešsaiste]. Forensic Science, Medicine and Pathology, 2021. Pieejams: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34533694/>
35. Molemax. *MoleMax Digital Skin Imaging Systems* [tiešsaiste]. Molemax, 2022 [skatīts 2024.g.20.novembrī].
36. Molemax. *Molemax HD user manual* [tiešsaiste]. Molemax, 2011 [skatīts 2024.g.20.novembrī].Pieejams:<https://www.molemaxsystems.com/wp-content/uploads/2020/10/MoleMax-HD-1.6-English.pdf>
37. Garbe, C., Peris, K., Hauschild, A. *European consensus-based interdisciplinary guideline for melanoma. Part 1: Diagnostics-Update 2024* [tiešsaiste]. European Journal of Cancer, 2025 [skatīts 2025.g.15.februārī].
38. Fabbro, S. *Understanding the ABCDEs of melanoma for early detection* [tiešsaiste]. Rixis Dermatology, 2019 [skatīts 2025.g.15.februārī]. Pieejams: <https://www.rixisdermatology.com/rixis-dermatology-insights/abcde-skin-cancer>
39. Riggel, D.S., Russak, J., Friedman, R. *The evolution of melanoma: 25 years beyond the ABCDs* [tiešsaiste]. A Cancer Journal for Clinicians, 2010 [skatīts 2025.g.15.februārī].Pieejams: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20671054/>
40. Swetter, S., Tsao, H., Bichakjian, C.K. *Guidelines of care for the management of primary cutaneous melanoma* [tiešsaiste]. Journal of the American Academy of Dermatology, 2019 [skatīts 2025.g.15.februārī]. Pieejams: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30392755/>

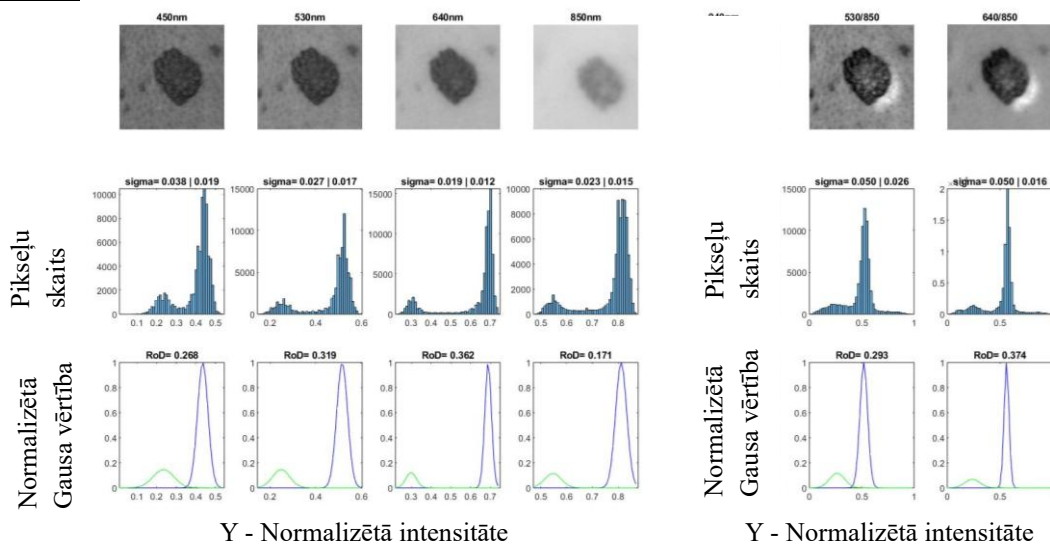
41. Digital Photography Review Dpreview. *Sony a7R IVA Overview* [tiešsaiste]. 2021, [skatīts 2025.g.15.februārī]. Pieejams: https://www.dpreview.com/products/sony/slrs/sony_a7riva
42. Astronomics. *Some comparative spectra* [tiešsaiste]. 2018, [skatīts 2025.g.15.februārī]. Pieejams: <https://www.cloudynights.com/topic/632080-some-comparative-spectra/>
43. Xrite. *Colorchecker White Balance* [tiešsaiste]. [skatīts 2025.g.20.februārī]. Pieejams: <https://www.xrite.com/service-support/product-support/calibration-solutions/colorchecker-white-balance>
44. Rubins, A. *Dermatoveneroloģija*. Rīga: Latvijas Dermatovenerologu asociācija un Latvijas Dermatoveneroloģijas fonds, 2010. 435 lpp. ISBN: 978-9984-9710-5-6.
45. Latvijas mikroķirurģijas centrs. *Ādas vēzis, audzēji* [tiešsaiste]. [skatīts 2025.g.20.aprīlī]. Pieejams: <https://www.mikrokirurgija.lv/pakalpojumi/onkologiska-kirurgija/adas-audzaji/>
46. Dugonik, B., Dugonik, A., Marovt, M., Golob, M. *Image Quality Assessment of Digital Image Capturing Devices for Melanoma Detection* [tiešsaiste]. MDPI, 2020. [skatīts 2025.g.15.februārī]. Pieejams: [Image Quality Assessment of Digital Image Capturing Devices for Melanoma Detection](https://www.mdpi.com/2079-9296/11/1/1195)
47. Celebi, M., Schaefer, G., Iyatomi, H., Stoecker, W. *Lesion Border Detection in Dermoscopy Images* [tiešsaiste]. Comput Med Imaging Graph., 2009, [skatīts 2025.g.15.februārī]. Pieejams: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2671195/>
48. Avci, P., Gupta, A., Sadasivam, M., Vecchio, D. *Low- Level Laser (Light) Therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring* [tiešsaiste]. PubMed, 2013, [skatīts 2025.g.15.februārī]. Pieejams: https://www.researchgate.net/publication/256835631_Low-Level_Laser_Light_Therapy_LLLT_in_skin_stimulating_healing_restoring

PIELIKUMI

Brīvprātīgā Nr 5 divu veidojumu attēli un rādītāji



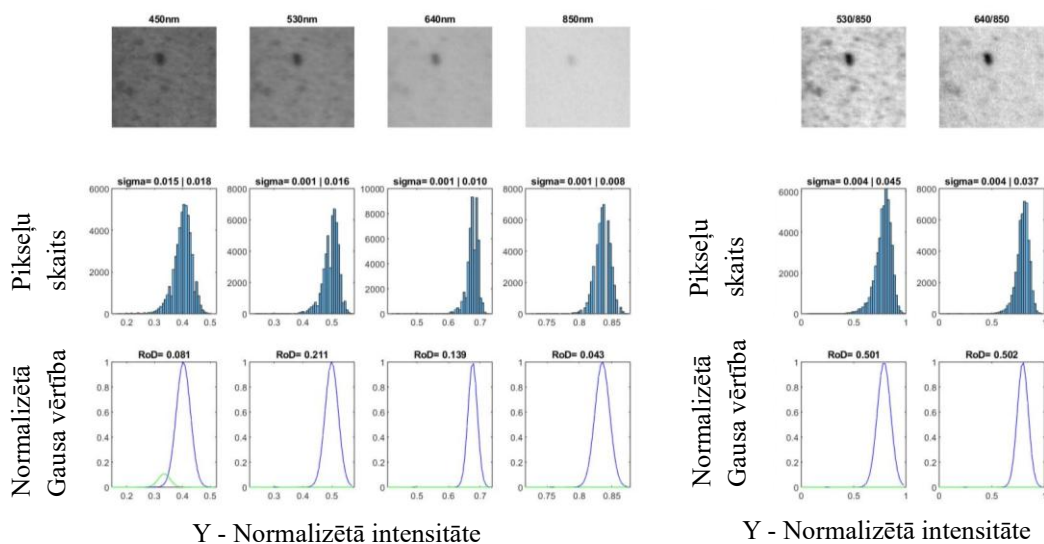
	Viļņa garums, nm					
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,017	0,002	0,017	0,003	0,050	0,048
Sigma (veidojums)	0,035	0,033	0,027	0,024	0,050	0,043
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,305	0,337	0,106	0,017	0,157	0,166



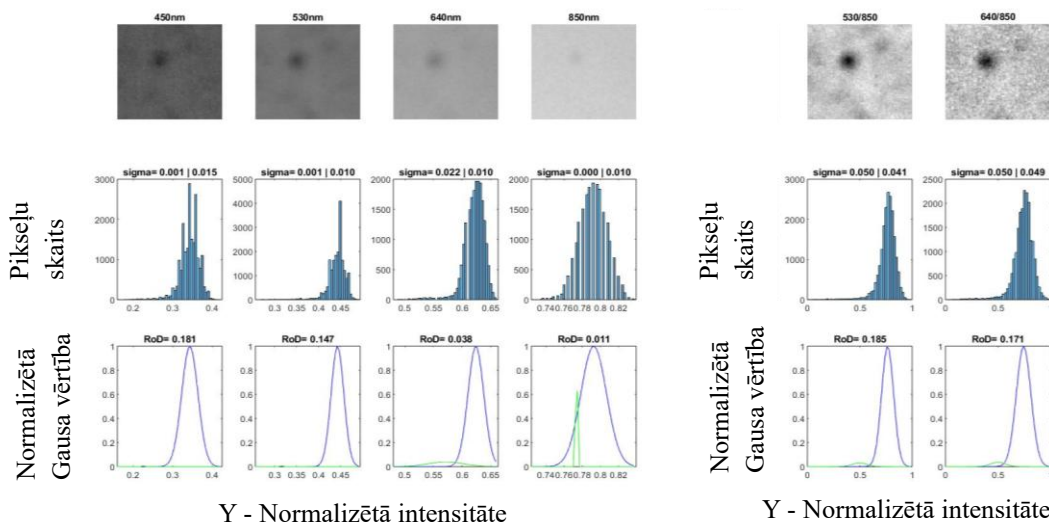
	Viļņa garums, nm					
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,038	0,027	0,019	0,023	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,019	0,017	0,012	0,015	0,026	0,016
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,268	0,319	0,362	0,171	0,293	0,374

2.pielikums

Brīvprātīgā Nr 6 divu veidojumu attēli un rādītāji

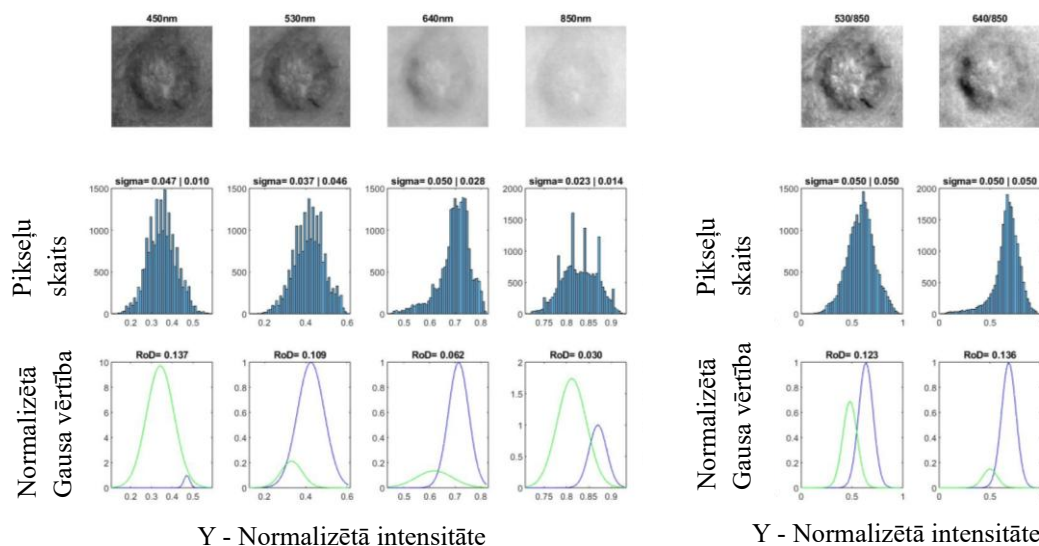


	Viļņa garums, nm					
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,015	0,001	0,001	0,001	0,004	0,004
Sigma (veidojums)	0,018	0,016	0,010	0,008	0,045	0,037
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,081	0,211	0,139	0,043	0,501	0,502



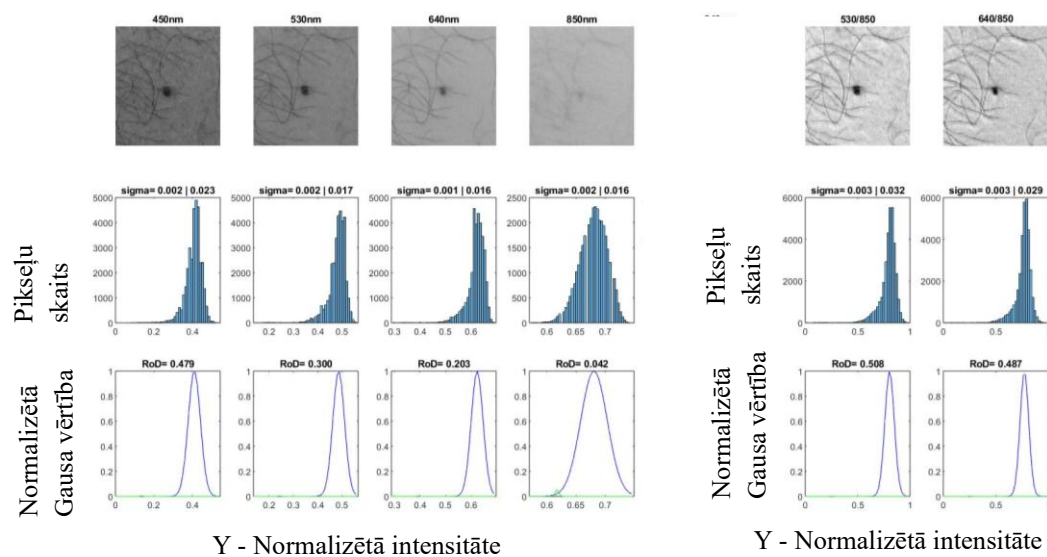
	Viļņa garums, nm					
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,001	0,001	0,022	0,000	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,015	0,010	0,010	0,010	0,041	0,049
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,181	0,147	0,038	0,011	0,185	0,171

Brīvprātīgā Nr 8 veidojuma attēli un rādītāji



Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,047	0,037	0,050	0,023	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,010	0,046	0,028	0,014	0,050	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,137	0,109	0,062	0,030	0,123	0,136

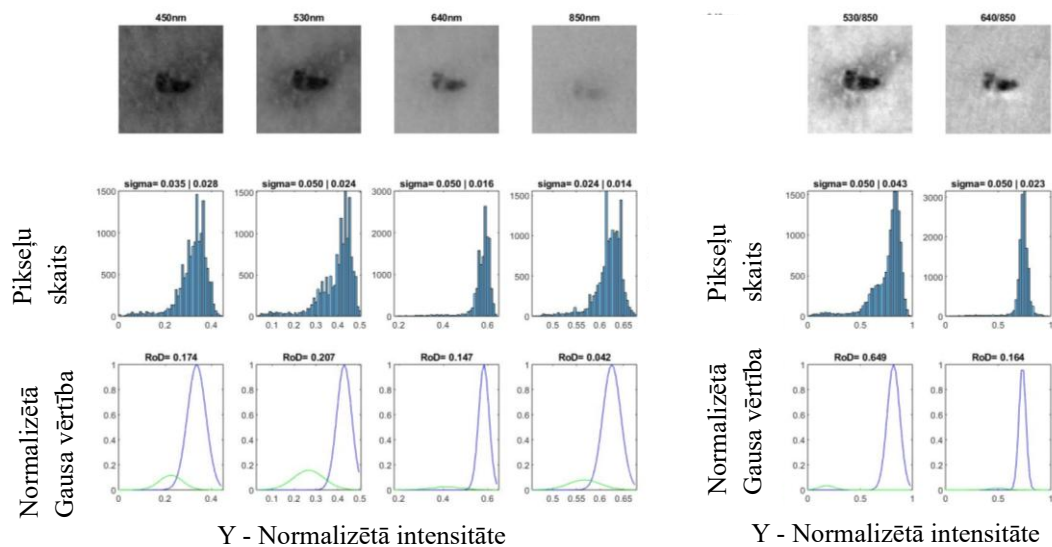
Brīvprātīgā Nr 11 veidojuma attēli un rādītāji



Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003
Sigma (veidojums)	0,023	0,017	0,016	0,016	0,032	0,029
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,479	0,300	0,203	0,042	0,508	0,487

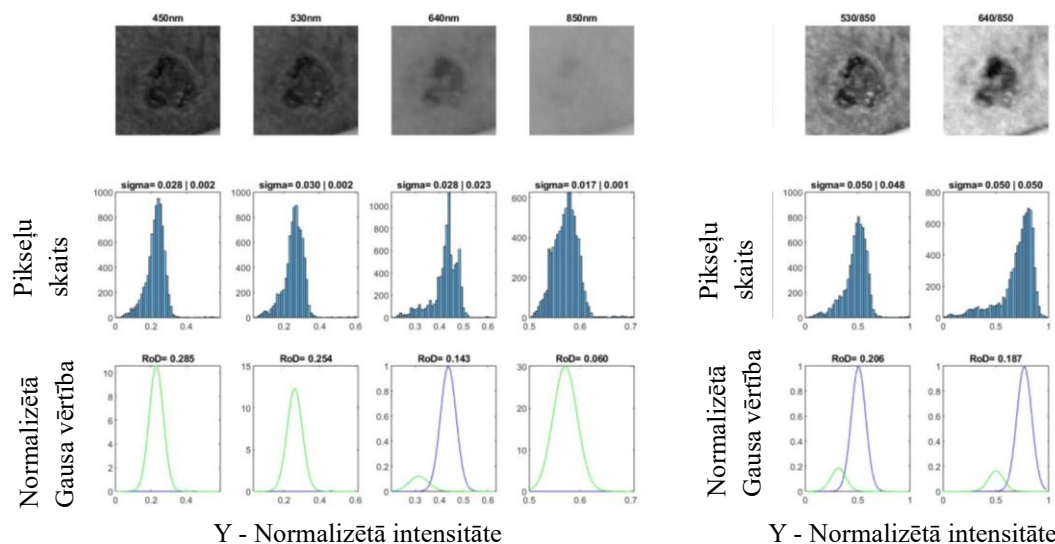
5.pielikums

Brīvprātīgā Nr 12 veidojuma attēli un rādītāji

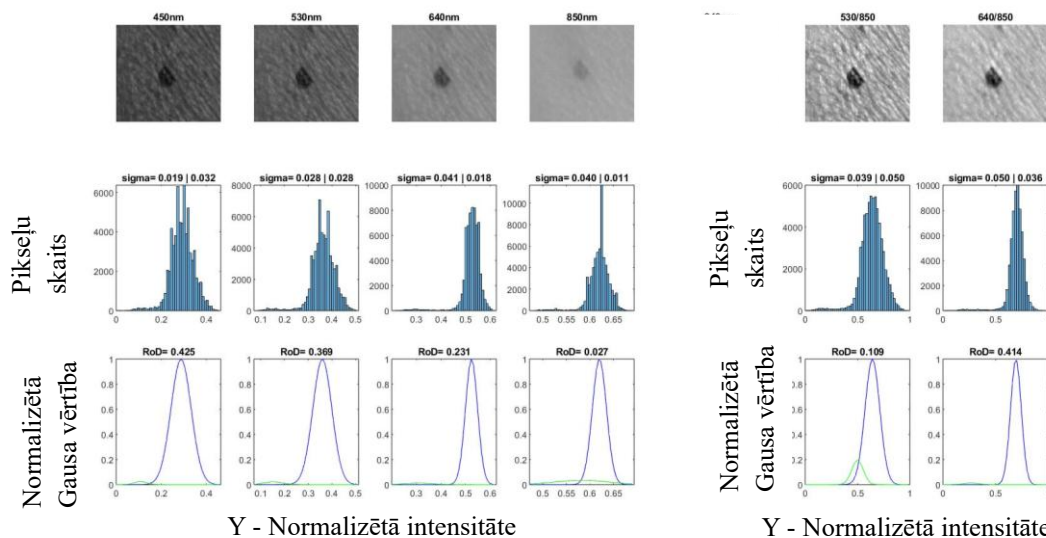


Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,035	0,050	0,050	0,024	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,028	0,024	0,016	0,014	0,043	0,023
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,174	0,207	0,147	0,042	0,649	0,164

Brīvprātīgā Nr 13 divu veidojumu attēli un rādītāji

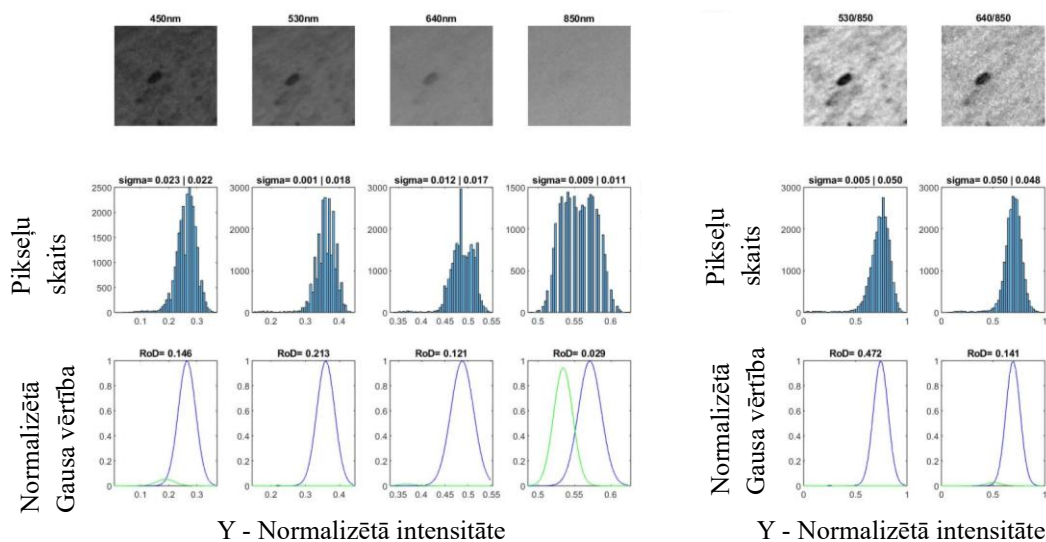


Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,028	0,030	0,028	0,017	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,002	0,002	0,023	0,001	0,048	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,285	0,254	0,143	0,060	0,206	0,187



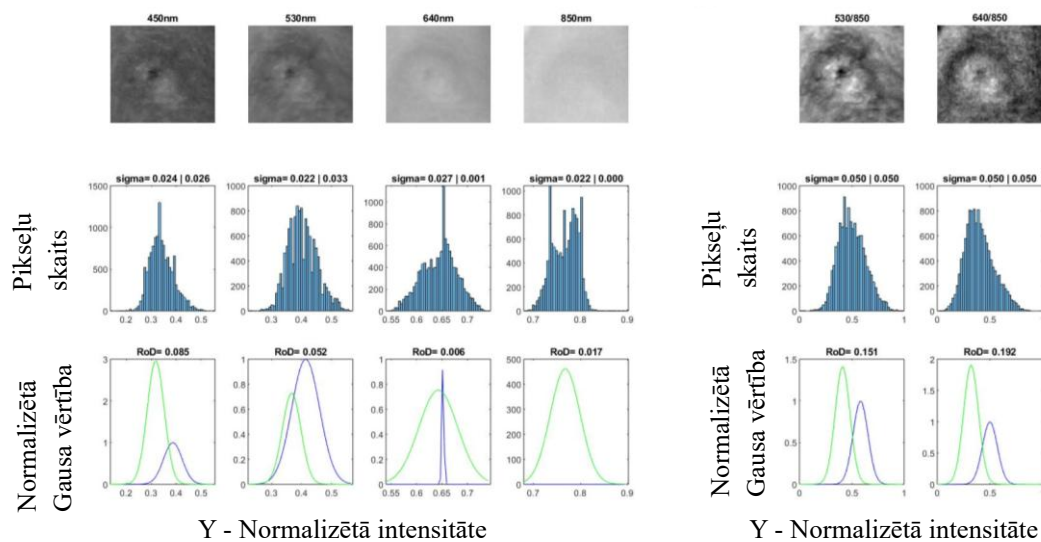
Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,019	0,028	0,041	0,040	0,039	0,050
Sigma (veidojums)	0,032	0,028	0,018	0,011	0,050	0,036
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,425	0,369	0,231	0,027	0,109	0,414

Brīvprātīgā Nr 14 veidojuma attēli un rādītāji



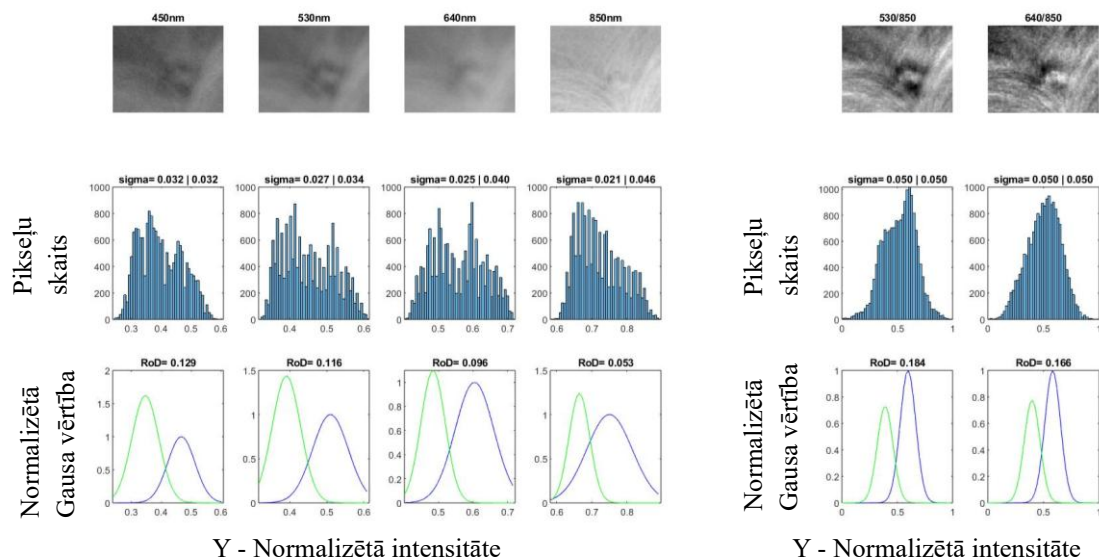
Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,023	0,001	0,012	0,009	0,005	0,050
Sigma (veidojums)	0,022	0,018	0,017	0,011	0,050	0,048
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,146	0,213	0,121	0,029	0,472	0,141

Brīvprātīgā Nr 15 veidojuma attēli un rādītāji



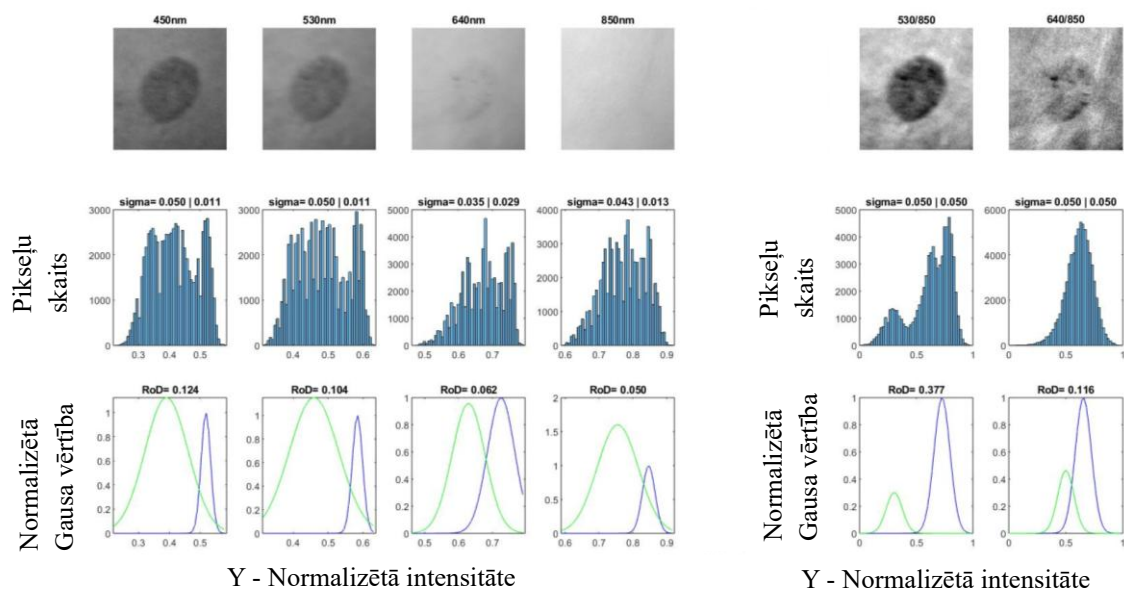
	Viļņa garums, nm					
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,024	0,022	0,027	0,022	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,026	0,033	0,001	0,000	0,050	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,085	0,052	0,006	0,017	0,151	0,192

Brīvprātīgā Nr 16 veidojuma attēli un rādītāji



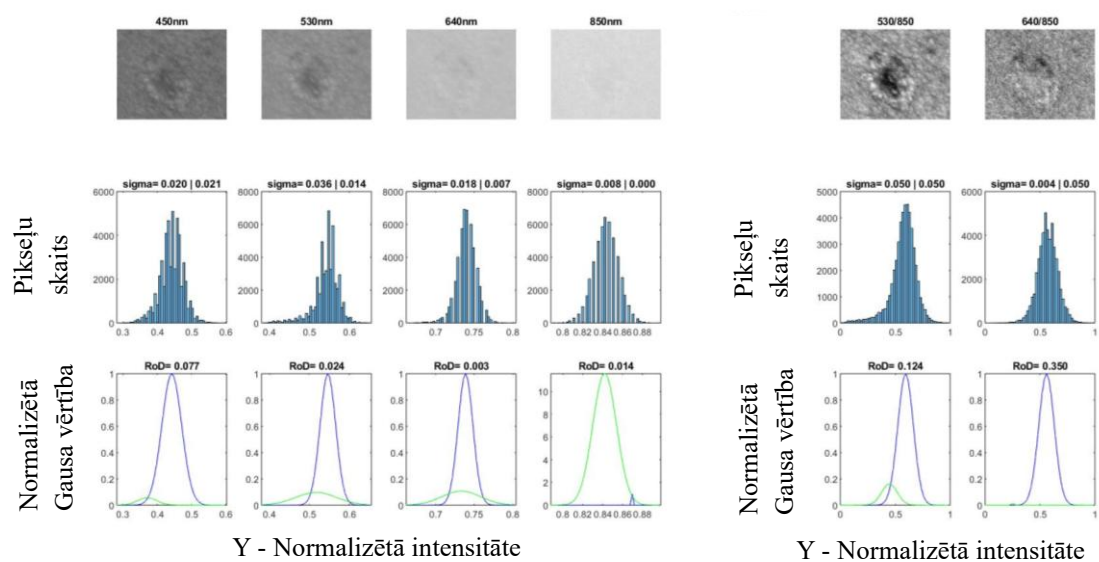
Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,032	0,027	0,025	0,021	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,032	0,034	0,040	0,046	0,050	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,129	0,116	0,096	0,053	0,184	0,166

Brīvprātīgā Nr 17 veidojuma attēli un rādītāji



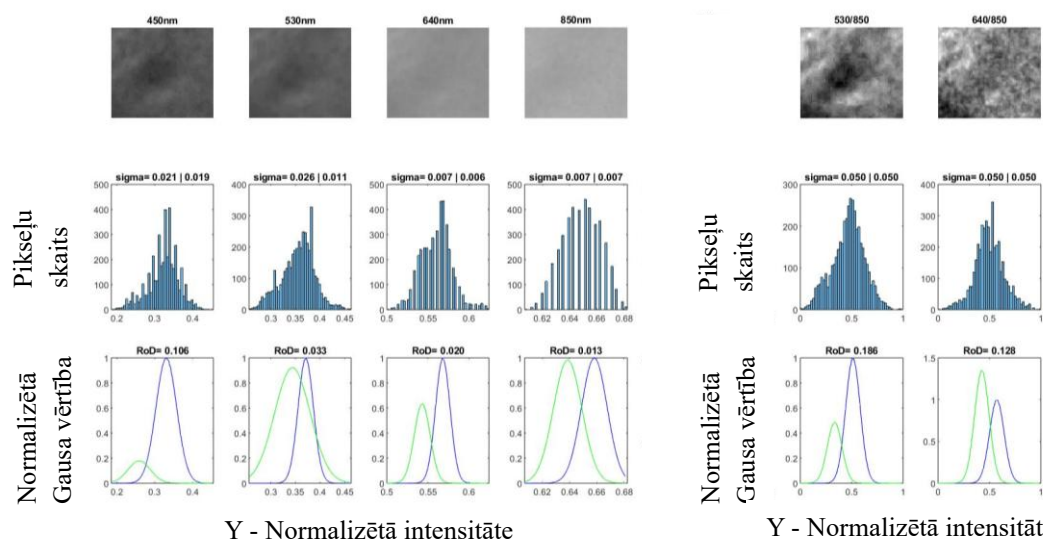
Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,050	0,050	0,035	0,043	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,011	0,011	0,029	0,013	0,050	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,124	0,104	0,062	0,050	0,377	0,116

Brīvprātīgā Nr 18 veidojuma attēli un rādītāji



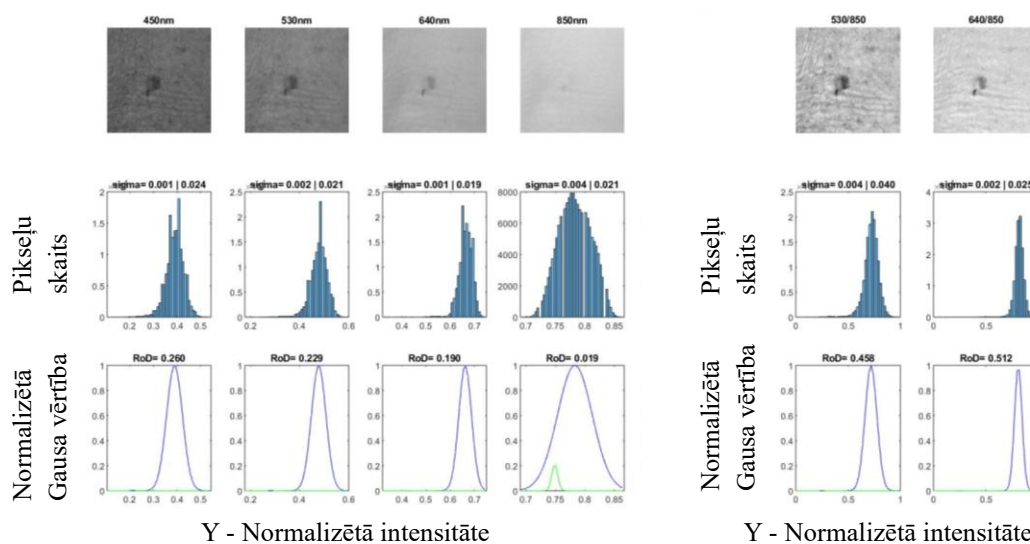
Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,020	0,036	0,018	0,008	0,050	0,004
Sigma (veidojums)	0,021	0,014	0,007	0,000	0,050	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,077	0,024	0,003	0,014	0,124	0,350

Brīvprātīgā Nr 19 veidojuma attēli un rādītāji

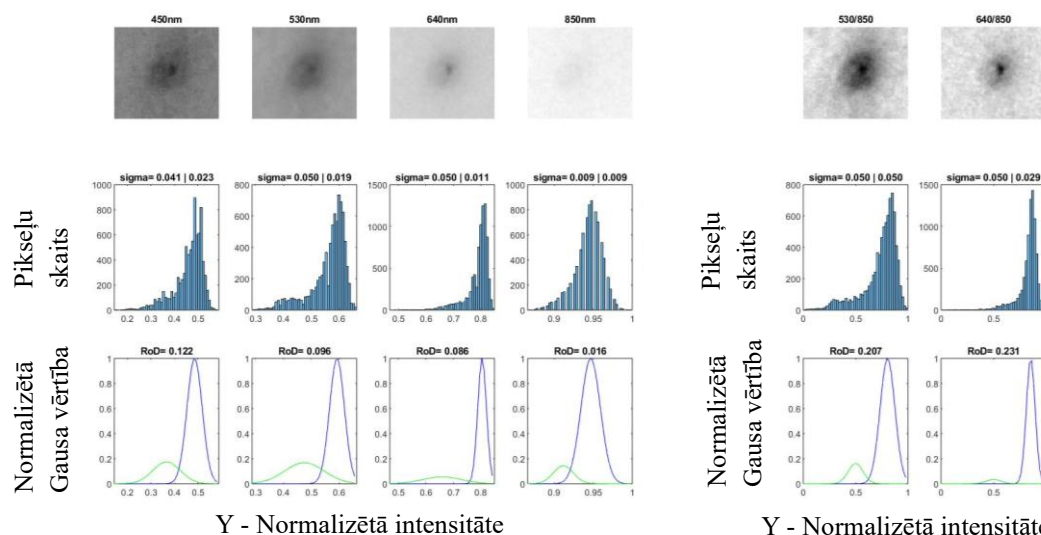


Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,021	0,026	0,007	0,007	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,019	0,011	0,006	0,007	0,050	0,050
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,106	0,033	0,020	0,013	0,186	0,128

Brīvprātīgā Nr 20 divu veidojumu attēli un rādītāji

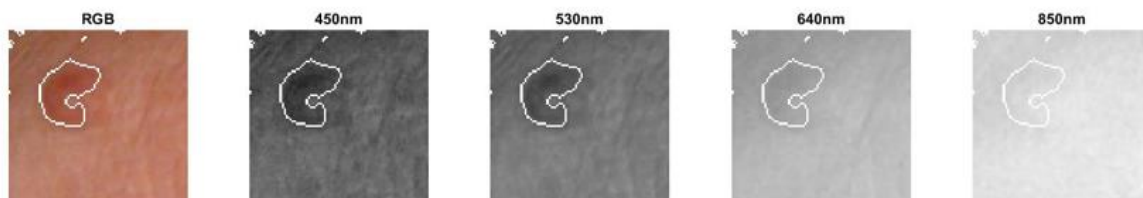


Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,001	0,002	0,001	0,004	0,004	0,002
Sigma (veidojums)	0,024	0,021	0,019	0,021	0,040	0,025
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,260	0,229	0,190	0,019	0,458	0,512

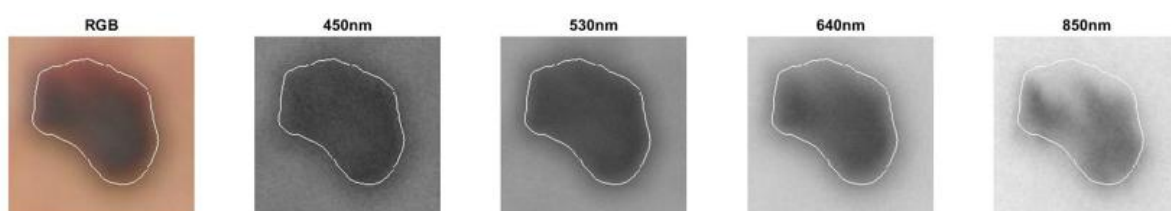


Viļņa garums, nm						
Vērtība	450	530	640	850	530/850	640/850
Sigma (āda)	0,041	0,050	0,050	0,009	0,050	0,050
Sigma (veidojums)	0,023	0,019	0,011	0,009	0,050	0,029
Relatīvais optiskais blīvums (RoD)	0,122	0,096	0,086	0,016	0,207	0,231

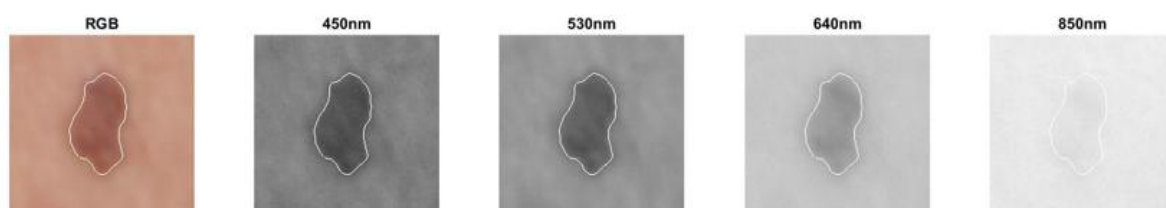
Vizuālais veidojumu novērtējums



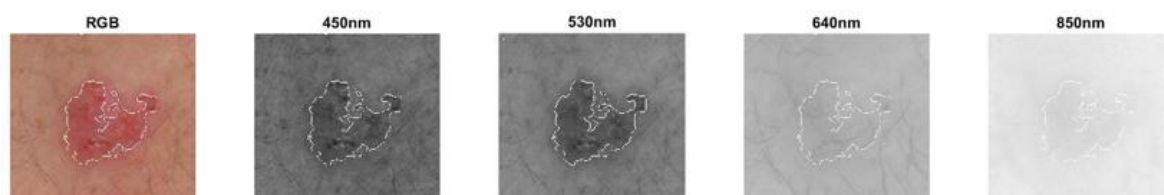
Pacients Nr 1



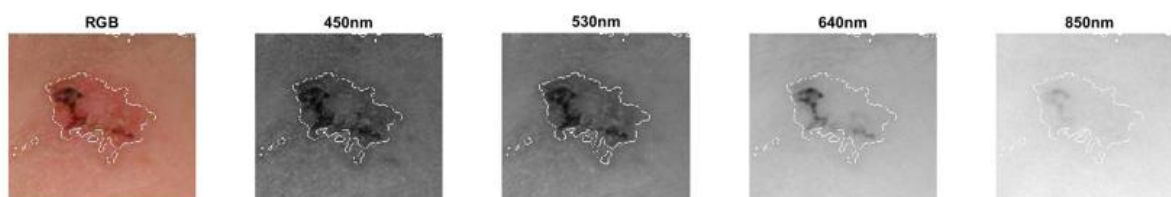
Pacients Nr 2, pirmais veidojums



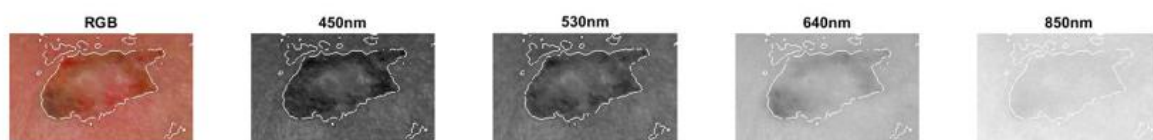
Pacients Nr 2, otrais veidojums



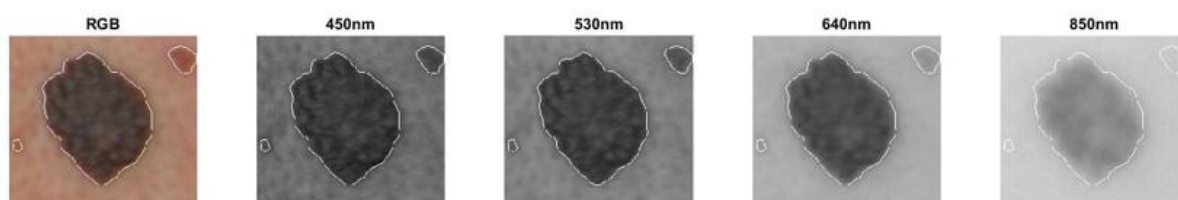
Pacients Nr 3



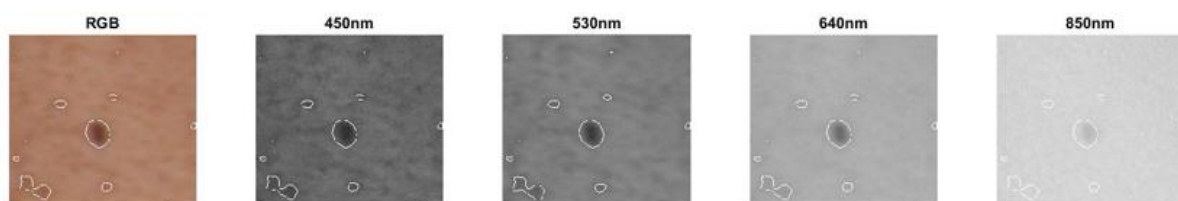
Pacients Nr 4



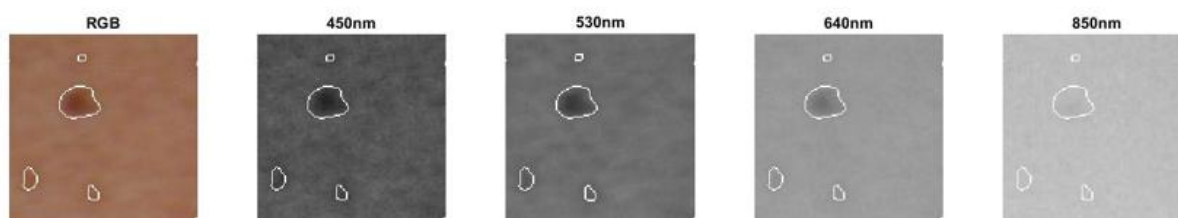
Pacients Nr 5, pirmais veidojums



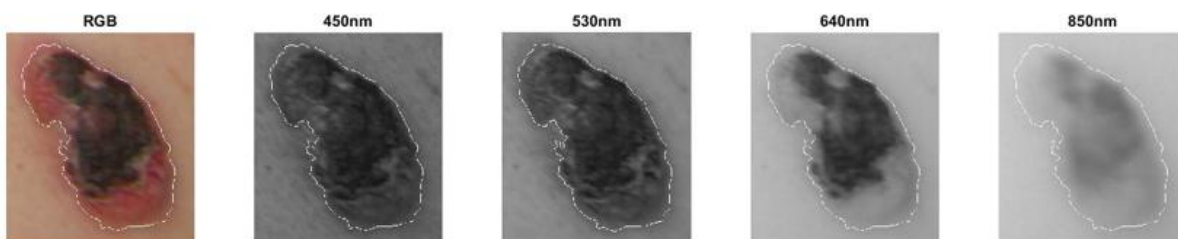
Pacients Nr 5, otrais veidojums



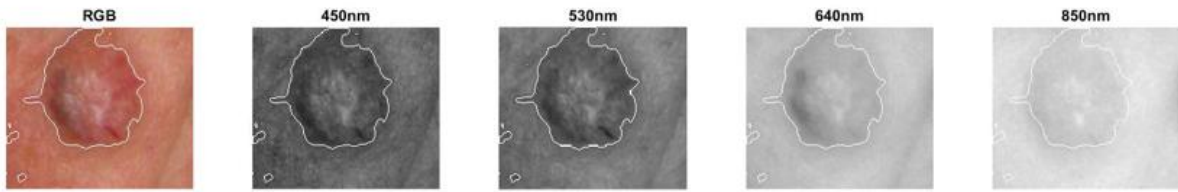
Pacients Nr 6, pirmais veidojums



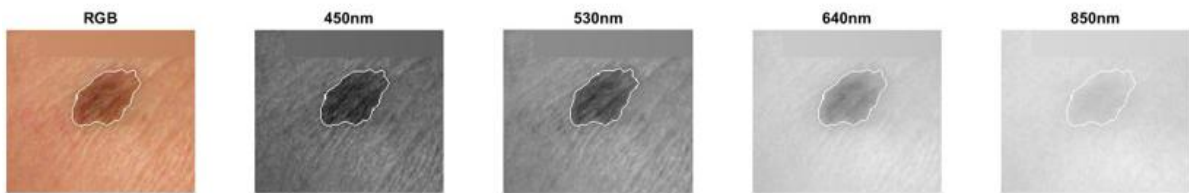
Pacients Nr 6, otrais veidojums



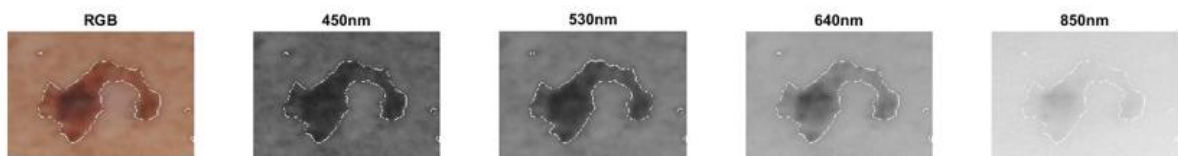
Pacients Nr 7



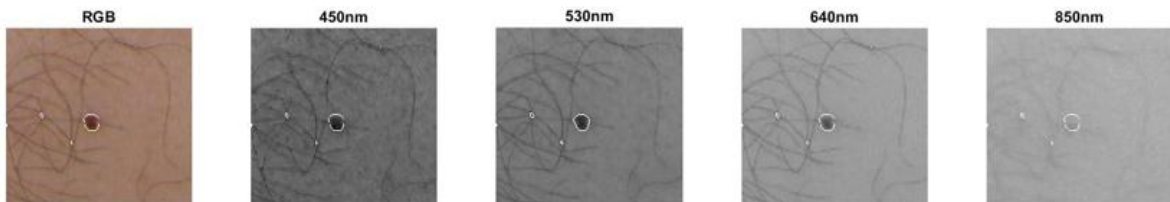
Pacients Nr 8



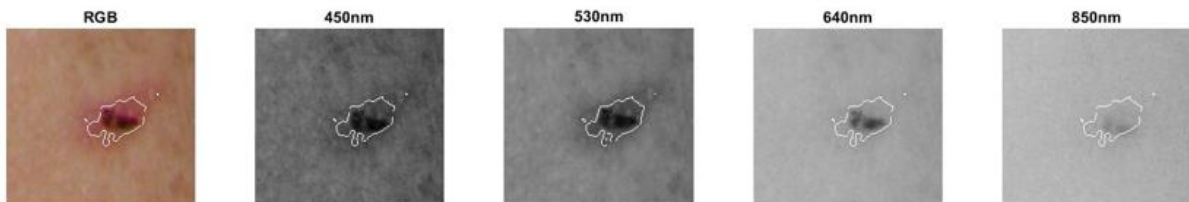
Pacients Nr 9



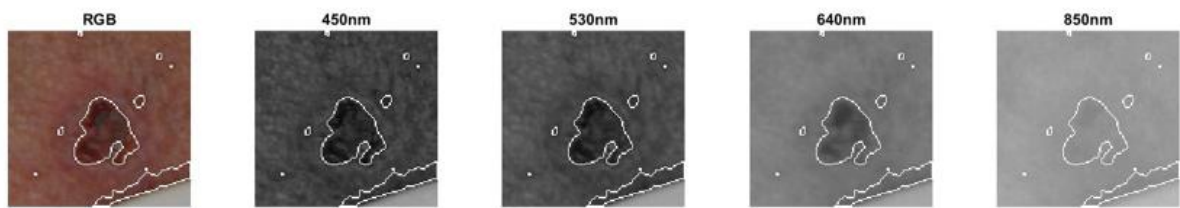
Pacients Nr 10



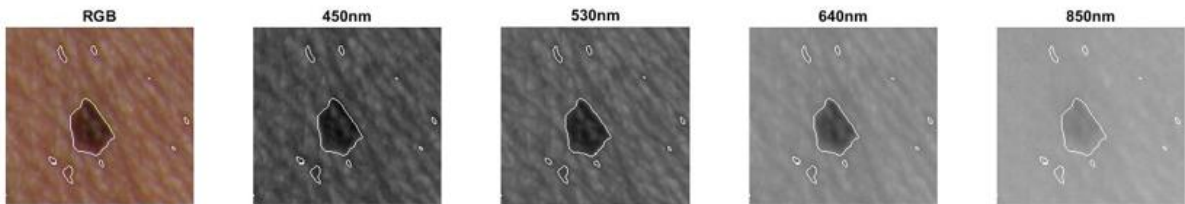
Pacients Nr 11



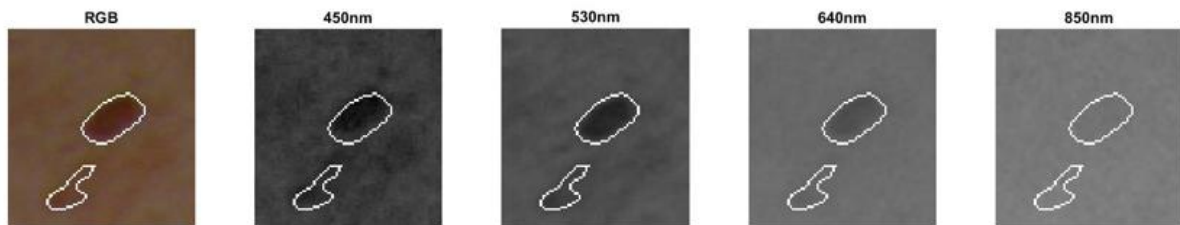
Pacients Nr 12



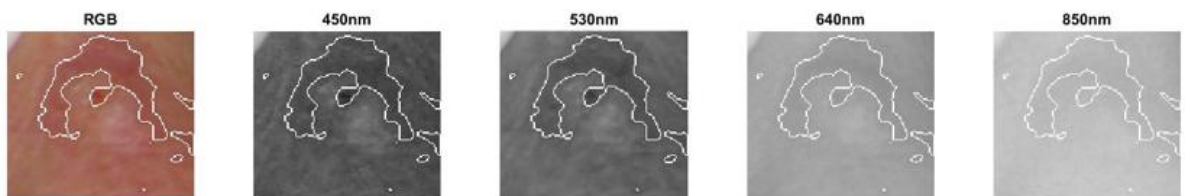
Pacients Nr 13, pirmais veidojums



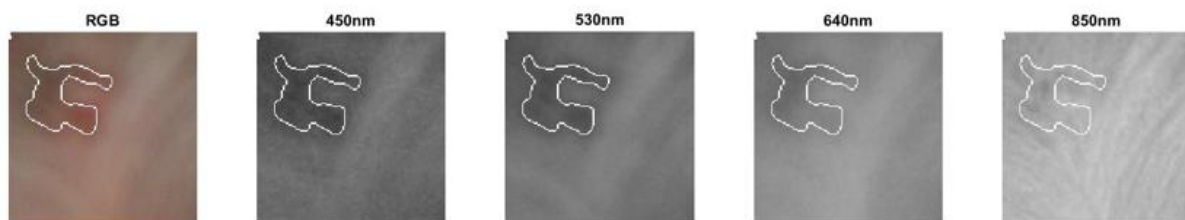
Pacients Nr 13, otrs veidojums



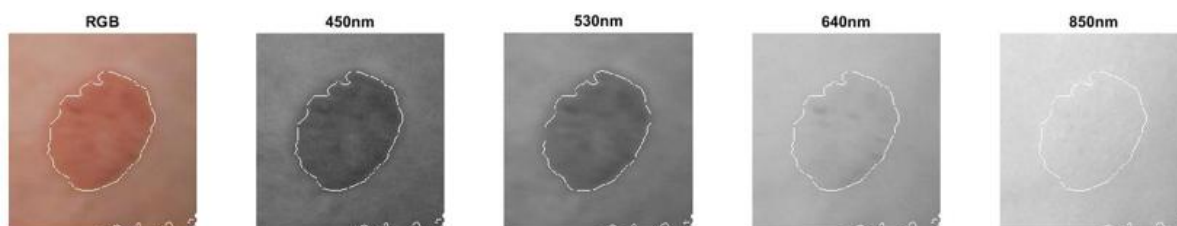
Pacients Nr 14



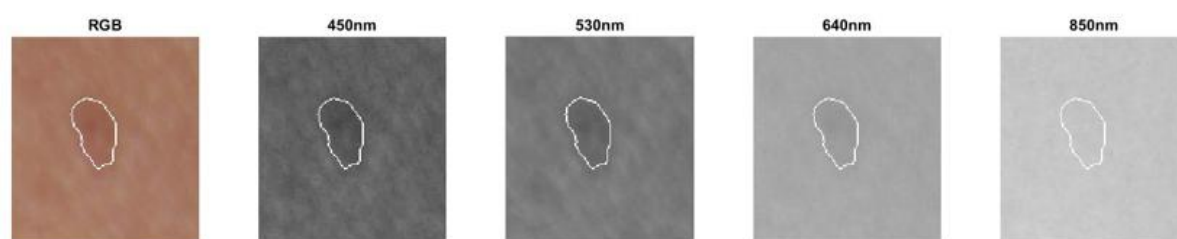
Pacients Nr 15



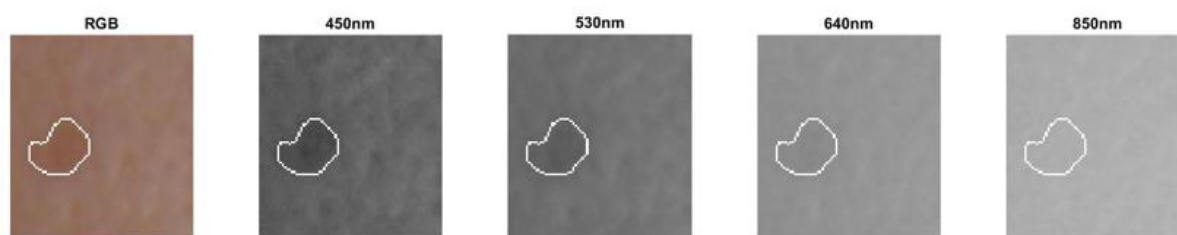
Pacients Nr 16



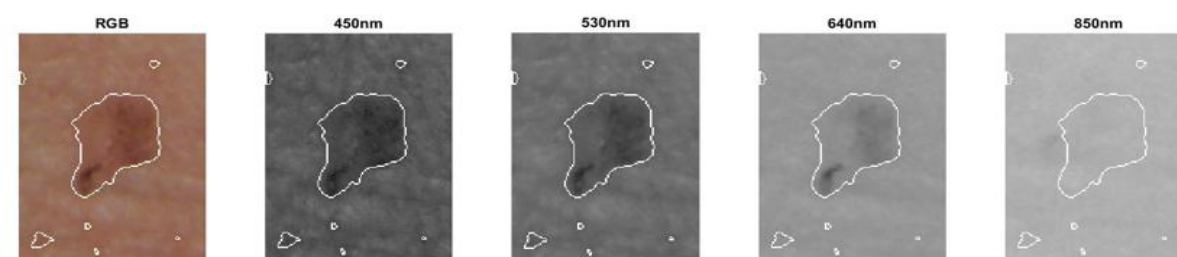
Pacients Nr 17



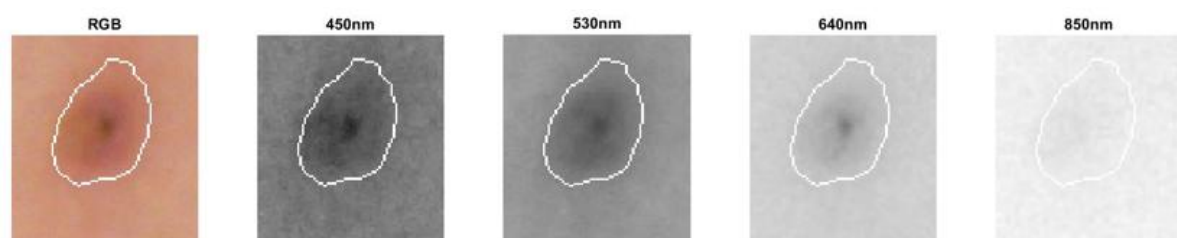
Pacients Nr 18



Pacients Nr 19



Pacients Nr 20, pirmais veidojums



Pacients Nr 20, otrs veidojums

Pilna ķermeņa ādas spektrālā attēlošana pie 850 nm

E.Kviesis-Kipge*, J.Tihomirova, U.Rubins, I.Irbe, M.Skrastiņa, J.Spigulis

EZTF ASI Biofotonikas laboratorija

*) e.kviesis.kipge@lu.lv

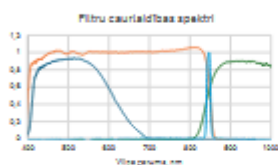
ASI Biofotonikas laboratorijā 2024.gadā tika izveidota un klīniski aprobēta prototipa ierīce pilna ķermeņa ādas dermatoskopijai pie trim redzamā diapazona viļņu garumiem 450nm, 520nm un 638nm [1]. Šai ierīcei papildus ir izveidots spektrālās attēlošanas kanāls tuvajā infrasarkanajā diapazonā pie 850 nm, kas var palīdzēt identificēt dziļākus ādas veidojumus, t.sk. ādas audzējus. Šeit sniegts īss papildelementu apraksts un demonstrēti pirmie iegūtie ādas veidojumu infrasarkanie attēli.

Metodes

Prototipa ierīces kopskats sniegts 1. attēlā. Vienmērīga apgaismojuma iegūšanai izmantota eliptiska 60 m sānstarojošas optiskās šķiedras spirāle, kura aptver fotokameru. Apgaismojuma-fotokameras sistēma var pārvietoties divos fiksētos augstumos – 0,5 m un 1,5 m. Ierīce tika papildināta ar infrasarkanā starojuma lāzeru (850nm 4000mW IR Fiber Coupled Laser Output Power Adjustable, HangZhou NaKu Technology Co., Ltd – 2.attēls, A) un Y-veida optisko šķiedru kolektoru B (LIGHTGUIDE, Līvāni) ar kopīgo izeju uz apgaismojuma sānstarojošo šķiedru E. Otrām kolektora zaram pievienots RGB lāzers D. NIR attēlu uzņemšanai izmantota modificēta 61.0MP Sony Alpha 7R IV 35mm pilna kadra fotokamera (2. attēls, C), kurai noņemts CMOS sensora infrasarkanais filtrs ar caurlaidību līdz 700nm; tas var tikt aizvietots ar 850nm "short-pass" filtru vai 800nm «long-pass» filtru (3. attēls). Iegūto attēlu apstrādei izmantota Matlab programmas vide, tie tiek iegūti ARW (nekompresētā) formātā. Katrs attēls tiek izveidots datu masīvā, no kura tiek izdalīti R-G-B un NIR attēli. Tie tiek normēti pēc spilgtības, lai labāk leraudzītu interesējošos ādas veidojumus.



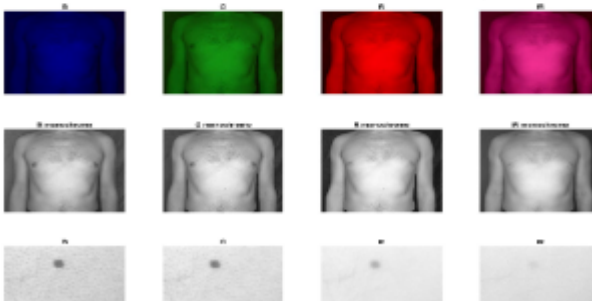
1. attēls. Prototipa ierīces kopskats.

2. attēls. A - 850nm lāzers;
B - Y veida šķiedra;
C - fotokamera;
D - RGB lāzers
E - sānstarojošā šķiedra

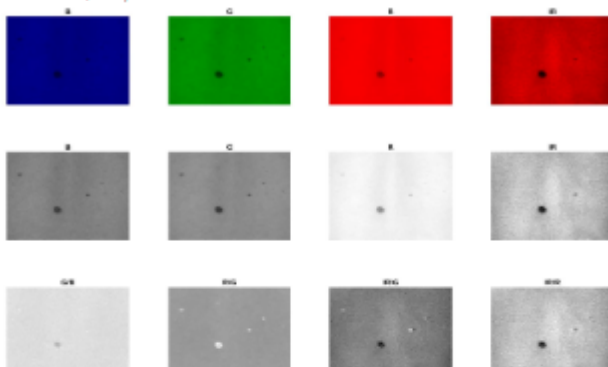
3. attēls. Filtru caurlaidības spektri un 850nm lāzera emisijas josla. Spektrometra izšķirtspēja – 4nm.

Pirmo mērījumu rezultāti

4. un 5. attēlā salīdzināti bez filtriem tumšā uzņemti ādas fragmentu spektrālie attēli pie 450nm (B), 520nm (G), 638nm (R) un 850nm (NIR). Ādas virspusējā nevusa nr. 1 NIR attēls ir levērojami blāvāks, salīdzinot ar R, G un B attēliem. Tāda tendence tika novērota arī agrākos mērījumos ar hiperspektrālo kameru. Savukārt 5. attēlā ilustrēti 4 nevusi, no kuriem 2 «izgaista» 638nm un 850nm attēlos, bet citi 2 vēl ir redzami; iespējams, ka šajos veidojumos ir lielāka melanīna koncentrācija, vai arī tie iespējams ādā dziļāki.



4. attēls. Nevūs nr. 1. Pirmā rinde – B-G-R un NIR spektrālie attēli ķermeņa augšdaļā; otrā rinde – monohromatiskie B-G-R un NIR attēli attiecīgās kameras spektrālās jutības kanālos; trešā rinde – palielināts interesējošais apgabals no monohromatiskiem attēliem (nevūs ir redzams 450nm attēlā, bet ļūst pārdzīt nemanāms pie 650nm).



5. attēls. Četrus nevusus attēli. Pirmā rinde – B-G-R un NIR spektrālie attēli; otrā rinde – spektrālie B-G-R un NIR attēli (mazākie nevusi NIR attēlā vairs nav redzami); trešā rinde – spektrālo attēlu daļumi.

Kopsavilkums

Ir sekmīgi izveidota prototipa ierīce lielu ādas apgabalu multispektrālā attēlošanai pie viļņu garumiem 450nm, 520nm, 638nm un papildus pie 850nm. Uzņemtie ādas nevusu (dzimumzīmju) spektrālie attēli infrasarkanajā spektra daļā būtiski «izbalē» vai pilnīgi pazūd, kas norāda uz potenciālu diagnostikā. Tiek plānots nākotnē nodrošināt spektrālo attēlu uzņemšanu papildus pie 940nm, kas palīdzētu pārliecināšāki izdalīt dziļos ādas audzējus.

[1] J.Spigulis, U.Rubins, E.Kviesis-Kipge, I.Sekrite, I.Oahine, E.Veialaine, "Triple spectral line imaging of whole-body human skin: equipment, image processing, and clinical data", Sensors 24, 7348 (2024). DOI:10.3390/s24227348. <http://www.mdpi.com/1424-8220/24/22/7348>.

Pateicības

Šo pētījumu finansē Atbalstaakcijas un noturības mehānisms atbalstītais projekts "Latvijas Universitātes iekšējā un ārējā konsolidācija" (Nr. 5.2.1.1.0/2/24/VCFLA/007).



Visible-NIR multispectral imaging of whole-body human skin

Janis SPIGULIS*, Edgars KVIESIS-KIPGE, Uldis RUBINS, Ilze IRBE, Marta SKRASTINA, Jekaterina TIHOMIROVA

Biophotonics Laboratory, Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, Faculty of Science and Technology, University of Latvia, Riga, Latvia

* *Corresponding author. E-mail address: janis.spigulis@lu.lv*

Keywords: Spectral line imaging, Whole-body dermoscopy, Multi-laser illumination

Motivation and Aim: To ensure efficient whole-body dermoscopy diagnostics and early screening of skin cancers, a laser multi-spectral-line imaging technique covering visible and near infrared (NIR) ranges has been developed.

Novelty: To our best knowledge, this is the first attempt to obtain and analyze a set of four spectral line images (three visible and one near-infrared), related to large areas or the whole body of human skin. Visible spectral images ensure sorting of malformations as pigmented or vascular, as well as mapping the distribution of three main skin chromophores over the malformations [1, 2]. In addition, the NIR images help to identify deeper (dermal) skin tumors, including malignant melanomas [3].

Methods: The snapshot multi-spectral-line imaging method [4] is applied in this study. Four laser spectral line (450 nm, 520 nm, 638 nm and 850 nm) illumination source is a side-emitting optical fiber spiral, Y-coupled to 3W RGB and 4W NIR lasers via SMA connectors – see Figure 1. High-resolution 61 Mpx Sony camera with removed infrared cut-off filter is placed within the illuminating fiber spiral. The camera-illuminator platform can be moved vertically up and down at typical heights 0.5 m and 1.5 m, while the patient changes his/her body position relatively to the camera, to enable imaging of any part of his/her skin with suspicious malformation(s). To avoid ambient illumination, the system and the patient are covered by a light-shielding tent. The system is operated from outside by means of Wi-Fi. Spectral line images are extracted from the camera digital image data set as described in [2].

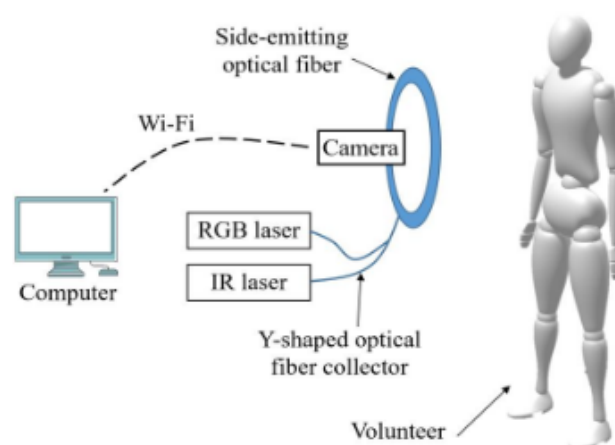


Figure 1. Schematic of the laser multispectral imaging setup.

Main results: Sets of four spectral line images (B - 450 nm, G - 520 nm, R - 638 nm, IR - 850 nm) of volunteer skin fragments comprising malformations in grayscale have been collected, the spectral image ratios were calculated, as well. In most cases, the number of malformations detected in the visible spectral images exceeded that detected in the 850 nm image, or all malformations disappeared at 850 nm; the image contrast always decreased with wavelength. A few malformations detected at all wavelengths most probably comprised higher chromophore concentration and/or were deeper penetrated in skin. At this stage of the project, only sets of distant skin spectral images of "relatively healthy" volunteers have been collected, without any clinical specifications of the imaged malformations. Clinical measurements with involvement of dermatologists are planned in March-August 2025, so by the time of conference enough oncology patient data would be available to discuss in more detail the potential advantages/disadvantages of this technology for skin cancer detection and early screening.

Conclusion: A new spectral imaging technology for distant assessment of skin tumors has been proposed, implemented and tested on volunteers. The set of combined 450/520/638/850 nm spectral images show a potential for advanced quantitative clinical diagnostics in dermatology.

Acknowledgements: This study is funded by the Recovery and Resilience Facility project "Internal and External Consolidation of the University of Latvia" (No.5.2.1.1.i.0/2/24/I/CFLA/007).

References:

1. J.Spigulis, U.Rubins, E.Kviesis-Kipge, I.Sakniete, I.Oshina, E.Vasilisina, "Triple spectral line imaging of whole-body human skin: equipment, image processing, and clinical data", *Sensors* **24**, 7348 (2024). DOI:10.3390/s24227348.
2. J.Spigulis, I.Oshina, A.Berzina, A.Bykov, "Smartphone snapshot mapping of skin chromophores under triple-wavelength laser illumination", *J.Biomed.Opt.*, **22**(9), 091508 (2017). DOI: 10.1117/1.JBO.22.9.091508.
3. I.Kuzmina, I.Diebele, L.Valeine, D.Jakovels, A.Kempele, J.Kapostinsh, J.Spigulis, "Multi-spectral imaging analysis of pigmented and vascular skin lesions: results of a clinical trial", *Proc. SPIE*, **7883**, 788312 (2011). <https://doi.org/10.1117/12.887207>.
4. J.Spigulis. *Ultra-narrowband multispectral imaging. Techniques and applications*, 97 p. CRC Press / Taylor & Francis, Boca Raton, USA (2024). ISBN: 1032757299.