



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais fonds

Prioritāte: 1.1. Augstākā izglītība un zinātne

Pasākums: 1.1.1. Zinātnes un pētniecības potenciāla attīstība

Aktivitāte: 1.1.1.2. Cilvēkresursu piesaiste zinātnei

### **Projekts: "Inovatīvas biomedicīnisko attēlu iegūšanas un apstrādes tehnoloģijas" (InBiT)**

Projekta sākuma datums: 01.09.2013.g.

Projekta beigu datums: 31.08.2015.g.

Vienošanās Nr.2013/0009/1DP/1.1.1.2.0/13/APIA/VIAA/014

ESF finansējuma saņēmējs: Elektronikas un datorzinātņu institūts (EDI)

Sadarbības partneris: Latvijas Universitātes Atomfizikas un spektroskopijas institūts (ASI)

#### **Projekta aktivitātes Nr.2 "Pētījumi" progressa pārskats**

Pārskata numurs Nr.7. par periodu no 01.06.2015.g līdz 31.08.2015.g.

*Projekta zinātniskais vadītājs:* Ints Mednieks, Dr.dat.

*Projekta zinātniskie darbinieki:* Aivars Lorencs, Dr.hab.math.

Kristīne Azarjana, Dr.med.

Jekaterina Bule, Dr.sc.ing.

Gita Krieviņa, doktorante

Inga Saknīte, doktorante

Dainis Jakovels, Dr.phys.

Dmitrijs Bļizņuks, doktorants

Juris Siņica-Siņavskis, Mag.math.

Mindaugas Tamošiunas, Dr.phys.

Roberts Kadiķis, Mag. sc. ing..

## SATURS

1	Kopsavilkums .....	3
2	Ievads .....	4
3	Multimodālas maketierīces izstrāde.....	4
4	Ādas veidojumu segmentācijas paātrināšana .....	5
5	Programmatūras sagatavošana darbam ar projektā izstrādāto ādas veidojumu attēlu uzņemšanas iekārtu .....	7
	5.1 Iekārtas kalibrēšana .....	7
	5.2 Iegūto attēlu apstrādes programmatūra.....	8
6	Patents uz ierīci melanomas atšķiršanai no dzimumzīmes.....	9
7	Lāzerplastikas klīnikā iegūto datu apkopošana .....	9
8	Projekta rezultātu apkopošana populārzinātniskā publikācijā.....	9
9	Fluorescences spektroskopijas un attēlošanas izmantošana elektroforēzes un sonoforēzes iedarbības novērtēšanai .....	9
10	Secinājumi .....	10
	Pielikumi .....	11

# 1 Kopsavilkums

Periodā no **1.6.2015.** – **31.08.2015.** projekta InBiT aktivitātes "Pētījumi" ietvaros veikti šādi galvenie darbi un iegūti šādi rezultāti:

1. Pabeigta multimodālās iekārtas izstrāde, izgatavoti tās 2 eksemplāri eksperimentu veikšanai un programmatūras skaņošanai. Pabeigta programmatūras izstrāde iekārtas vadībai (aktivitāte 2.3).
2. Izstrādāta programmatūra multimodālās iekārtas iegūto attēlu apstrādei un rezultātu vizualizācijai. Programmatūra realizēta MATLAB vidē un integrē iepriekšējos periodos izstrādātās funkcijas attēlu reģistrācijai, ādas veidojumu segmentācijai un diagnostikai (aktivitāte 2.3).
3. Veikti laboratorijas eksperimenti ar izstrādāto iekārtu. Balstoties uz eksperimentu rezultātiem, pieskaņoti iekārtas parametri iegūto attēlu kvalitātes nodrošināšanai (aktivitāte 2.3).
4. Par projektā iegūtajiem rezultātiem ziņots konferencēs (aktivitāte 2.4):
  - a. „IONS Nanjing” 10.-12. jūlijā Nanjing, Ķīnā;
  - b. „The 2nd International Conference on Photonics Solutions”, 6.- 8. jūlijā Hua Hin, Taizemē;
  - c. „Biophotonics Summer School”, 6.-13. jūnijā Venas salā, Zviedrijā;
  - d. „23<sup>rd</sup> World Congress of Dermatology”, 8.-13.jūnijā Vankūverā, Kanādā;
  - e. „Physiology 2015”, 6.-8.jūnijā Kardifā, Lielbritānijā.
5. Saņemti attiecīgo komisiju pozitīvi atzinumi par iesniegto Dmitrija Bļizņuka, Gitas Krieviņas un Ingas Saknītes disertāciju virzīšanu aizstāvēšanai (aktivitāte 2.4).
6. Apkopoti pētījumi fluorescences izmantošanā elektroforēzes un sonoforēzes iedarbības ilglaicīgai novērošanai dzīvos audos. Iesniegts zinātnisks raksts „Non-invasive optical diagnostics of EGFP expression in skeletal muscle for comparison of electroporation and sonoporation efficiencies” žurnālam „Journal of Biomedical Optics” (aktivitāte 2.4).
7. Iegūts un publicēts LR patents par iekārtu melanomas atšķiršanai no dzimumzīmes, kura balstās uz ādas veidojuma attēla iegūšanu un apstrādi (aktivitāte 2.4).
8. Raksts par ādas veidojumu klasifikācijas metodi melanomu atšķiršanai no dzimumzīmēm „Melanoma-Nevus Discrimination Based on Image Statistics in Few Spectral Channels” pieņemts publicēšanai žurnālā "Elektronika ir Elektrotehnika" (aktivitāte 2.4).
9. Sagatavota populārzinātniska brošūra par projekta saturu un iegūtajiem rezultātiem (aktivitātes 2.4, 3).
10. Projekta rezultāti prezentēti plašai publikai noslēguma seminārā, tai skaitā demonstrēta projekta ietvaros izstrādātā multimodālā iekārta darbībā (aktivitāte 2.3).

Projekta zinātniskais vadītājs

I.Mednieks

## 2 Ievads

Šis pārskats veltīts projekta septītā- pēdējā posma laikā veiktajiem darbiem. Šis posms bija galvenokārt veltīts projekta ietvaros iegūto rezultātu apkopošanai un publicēšanai. Šajā laikā tika arī turpināti uzsāktie pētījumi, laboratorijas apstākļos pārbaudīts un noskaņots jaunās iekārtas makets, par iegūtajiem rezultātiem ziņots zinātniskās konferencēs, saņemts LR patents un sagatavotas zinātniskās publikācijas.

Periodā laikā tika pabeigta multimodālās iekārtas izstrāde, izgatavoti tās 2 eksemplāri, veikti laboratorijas eksperimenti, lai izvēlētos iekārtas parametrus kvalitatīvu attēlu iegūšanai, attiecīgi pilnveidota iekārtas vadības programmatūra. Izstrādāta MATLAB programmatūra iegūto attēlu apstrādei, integrējot attēlu reģistrācijas, ādas veidojumu segmentācijas un diagnostikas funkcijas. Iekārta prezentēta projekta noslēguma seminārā.

Turpināti pētījumi arī citos jau agrāk iesāktajos virzienos un pārskatā atainoti jaunākie rezultāti. Sagatavotās publikācijas pievienotas pielikumos. Būtisks perioda rezultāts ir iegūtie pozitīvie komisiju atzinumi par trīs iesniegto disertāciju virzīšanu aizstāvēšanai.

Šī pēdējā perioda pārskata beigās izdarīti secinājumi par projekta uzdevumu izpildi kopumā.

## 3 Multimodālās maketierīces izstrāde

Pārskata periodā tika veikti šādi darbi multimodālās maketierīces gala versijas izstrādei:

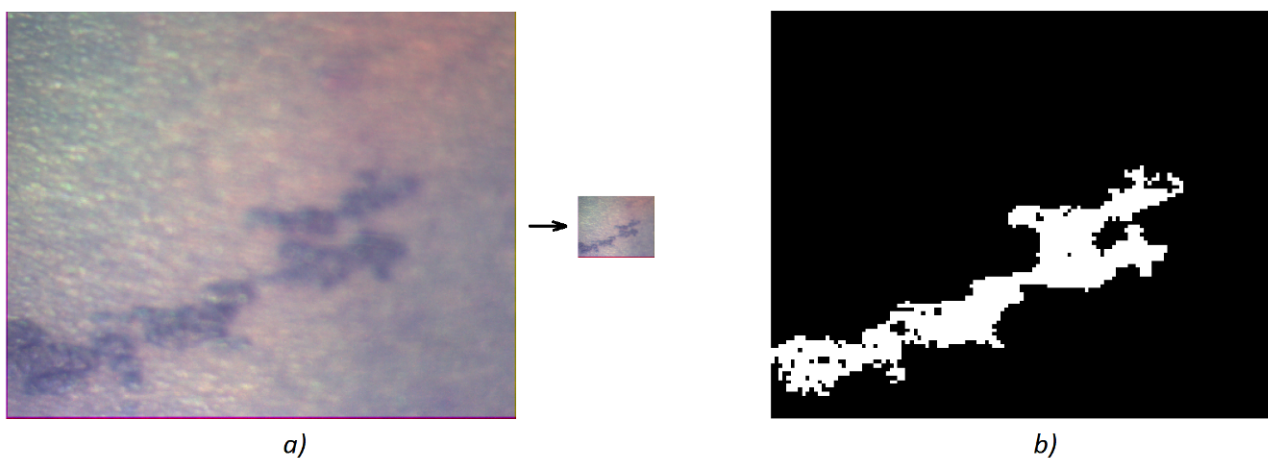
- 1) balstoties uz diožu gredzena 3D maketa, izveidota tā principiālā shēma un spiestā plate;
- 2) veiktas vairākas korpusa 3D izdrukas, panākot pakāpenisku optiskās un mehāniskās konstrukcijas uzlabošanu;
- 3) izstrādātas papildus barošanas kontroles shēmas un tās realizētas spiestajās platēs;
- 4) notestētas divas IDS kameras reālā darba režīmā;
- 5) iekārtas optiskie parametri nokalibrēti ādas attēlu uzņemšanai, kā arī uzņemti references attēli optiskā blīvuma attēlu iegūšanai.

Tika veiktas maketierīces laboratorijas pārbaudes, programmatūras izstrāde un noskaņošana, izvēloties ierīces parametrus. Tika pabeigta ierīces dokumentācijas izstrāde un aprakstīta izstrādātās multimodālās tehnoloģijas realizācija maketierīcē. Šis apraksts noformēts kā atsevišķs dokuments „Multimodāla biomedicīnas datu attēlošanas tehnoloģija. Tehnoloģijas demonstrators/programmatūras projekts”, kas iesniegts kopā ar perioda atskaiti.

## 4 Ādas veidojumu segmentācijas paātrināšana

Iepriekšējā pārskata periodā tika pētīta mākslīgo neironu tīklu pielietošana ādas veidojumu segmentācijai, kas nodala attēla pikseļus veidojumam piederīgajos un nepiederīgajos. Trenējot dažādas konfigurācijas neironu tīklus uz ieejas datiem, tika izvēlēts labākos rezultātus uzrādošs modelis. Labākais segmentācijas tīkls tika pārnestš uz MATLAB vidi. Tīkls tika trenēts uz skaitļošanas servera, kuru veido četri grafiskie (paralēlie) procesori. Lietotājam, kas vēlas lietot uz MATLAB vidi pārnesto neironu tīklu, var nebūt pieejams grafiskais procesors – nākas lietot centrālo procesoru, kas neironu tīklu darbināšanas gadījumā ir lēnāks par paralēlajiem grafiskajiem procesoriem. Lai segmentētu 1024x1280x6 izmēra ieejas multispektrālo attēlu, jeb lai klasificētu 1310720 pikseļus (katram pikselim atbilst 6 vērtības), datoram ar četrus kodolu 3.40 GHz procesoru un 8 GB operatīvo atmiņu nepieciešamas aptuveni 66 sekundes. Šajā pārskata periodā, balstoties uz jau uztrenētu segmentācijas neironu tīklu, tika izveidota ātrāka segmentācijas metode, kas ļautu ārstiem un pacientiem ātrāk iegūt rezultātu par tikko uzņemtu veidojumu.

Vienkāršs veids, kā samazināt segmentācijā patērēto laiku, ir samazināt apstrādājamo pikseļu daudzumu. Pirms neironu tīkla pielietošanas, ieejas attēls tiek samazināts pa katru asi 10 reizes, kā parādīts attēlā 4.1a. Šādā gadījumā attēlā pikseļu skaits samazinās 100 reizes, un mazā attēla segmentēšanai būs nepieciešama nepilna sekunde. Samazinātā attēla segmentēšanas rezultāts parādīts attēlā 4.1b. Attēla samazināšanas dēļ, iegūtā segmentācijas maska ir aptuvena. Lai iegūtu precīzu segmentēšanas rezultātu, tiek veikti papildus apstrādes soļi.



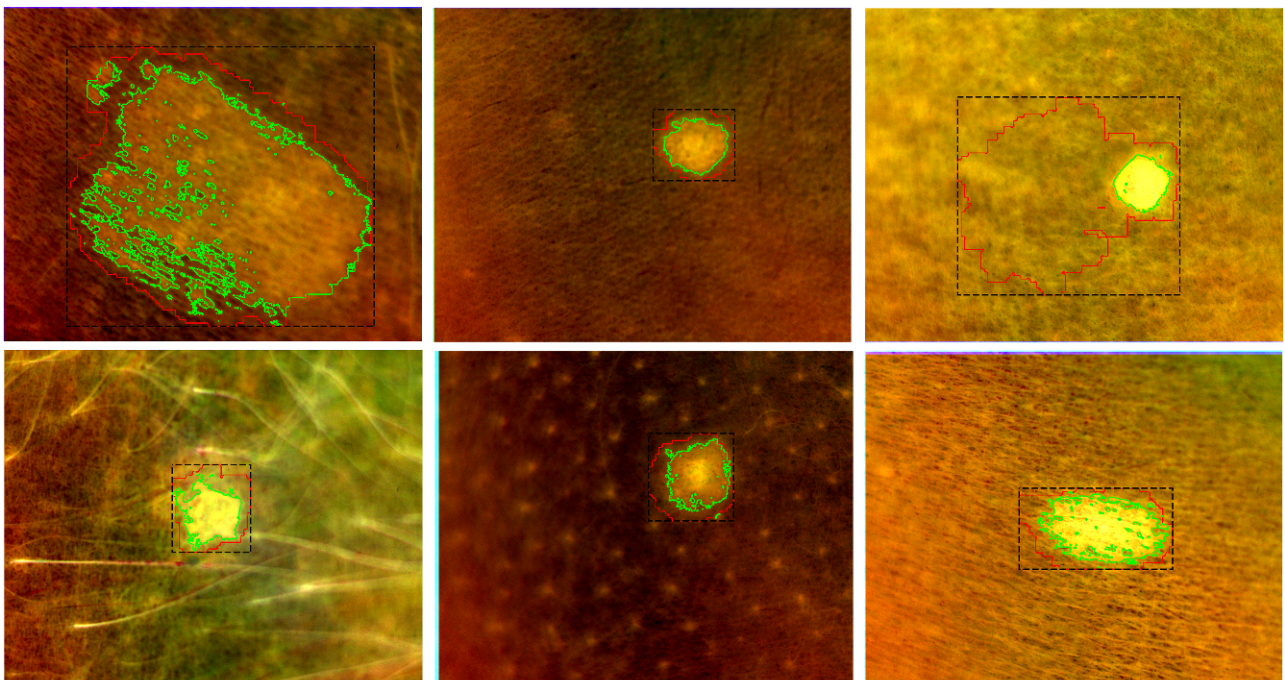
Att. 4.1. Ātrākas segmentācijas pirmie soļi a) ieejas attēla samazināšana; b) mākslīgā neironu tīkla segmentācijas rezultāts.

Ar mākslīgo neironu tīklu iegūtajā segmentācijas maskas attēlā (4.1b) pikseļiem ir tikai divas iespējamās vērtības: 0 (melni) un 1 (balti- veidojumam piederīgi). Nākamajā apstrādes solī maskas attēlā tiek atrasti atsevišķi objekti – apgabali, kas sastāv no baltiem pikseļiem un ir atdalīti no citiem balto pikseļu apgabaliem. Attēlā 4.2a atrastie objekti iezīmēti ar dažādām krāsām. No izdalītajiem objektiem tiek atrasts objekts ar lielāko laukumu. Visi pārējie objekti tiek dzēsti – to pikseļu vērtības tiek aizstātas ar 0. Iegūtajam attēlam tiek veikta morfoloģiskā paplašināšanas operācija, kas paplašina reģionu ar baltajiem pikseļiem. Pēc paplašināšanas, maskas attēls tiek palielināts, lai tā izmērs sakristu ar sākotnējo ieejas attēla izmēru. Šajā posmā ir iegūta segmentācijas maska (attēls 4.2b), kas ietver interesējošo veidojumu, kā arī nelielu apgabalu ap veidojumam. Attēlā 4.2c. ir parādīts ieejas attēls, un aptuvenā veidojuma maska, kas atzīmēta ar sarkanu līniju. Precīzāka segmentācijas maska tiks meklēta tikai ar sarkano līniju apvilktajā ieejas attēla apgabalā.



Att. 4.2. Papildus apstrādes soļi attēla segmentēšanā a) Lielākā savienotā objekta atrašana; b) morfoloģiskā paplašināšanas operācija; c) Otsu sliekšņošanas rezultāts.

Iepriekšējos pārskata periodos bez mākslīgajiem neironu tīkliem tika lietots arī cits segmentācijas paņēmieni. Veidojums no ādas atšķiras pēc tā pikseļu intensitātes, tādēļ segmentāciju varēja veikt ar pikseļu sliekšņošanas palīdzību, kad noteiktu vērtību pārsniedzīgi pikseļi tiek segmentēti kā veidojumam piederīgi. Sliekšnis katram ieejas attēlam tika noteikts ar automātisku Otsu metodi. Šāda veida segmentācija veiksmīgi darbojās tad, ja lietotājs aptuveni norādīja veidojuma apgabalu attēlā, kurā nav citu pēc intensitātes objektam līdzīgu apgabalu. Lietojot neironu tīklu, tāpat tiek iegūts aptuvenš veidojuma apgabals, tātad darbības, ko iepriekš veicis lietotājs, ir automatizētas. Ar Otsu sliekšņošanas palīdzību apstrādājot tikai to ieejas attēla apgabalu, ko aptver maska 4.2b, tiek noteiktas precīzākas pētāmā veidojuma robežas, kas attēlā 4.2c atzīmētas ar zaļu līniju. Ar melnu raustītu līniju šajā pašā attēlā parādīts apgabals, kas tiek izgriezts no multispektrālā attēla un kopā ar precīzo veidojuma segmentācijas masku padots veidojuma analīzes algoritmam, kas noteiks vai veidojums ir aizdomīgs. Papildus apstrādes posmi (attēla samazināšana un palielināšana, morfoloģiskā paplašināšana, Otsu sliekšņošana) 1024x1280x6 izmēra attēla segmentēšanai aizņem vēl vienu sekundi. Salīdzinot ar minūtes ilgu pilna attēla segmentēšanu ar neironu tīkla palīdzību, tiek panākts būtisks ātruma uzlabojums.

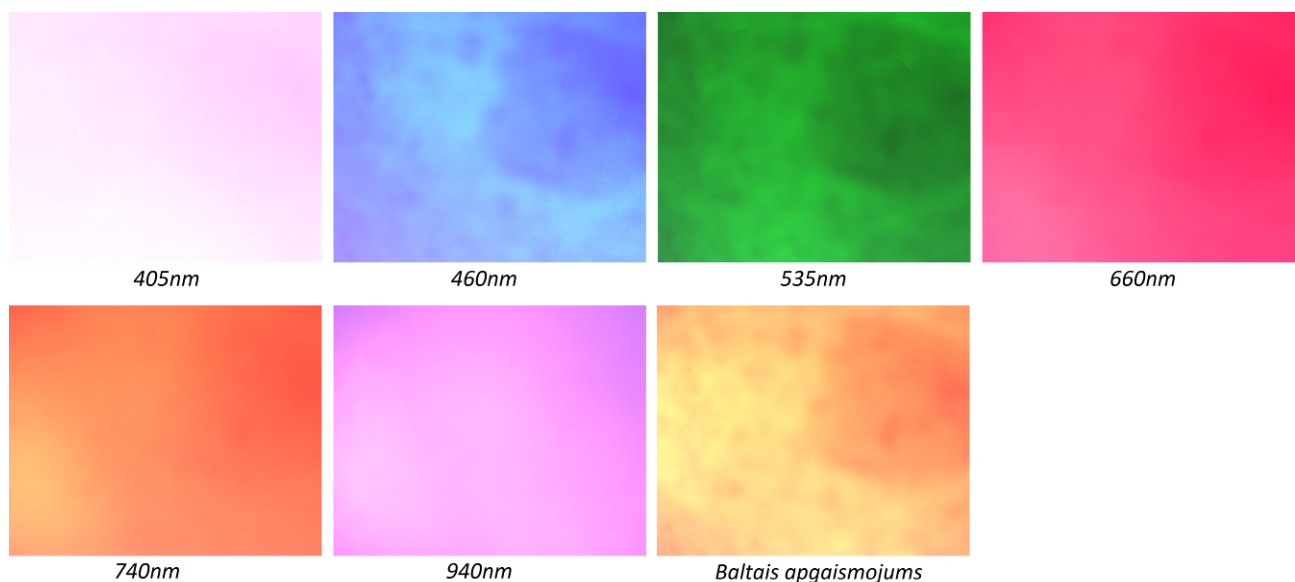


Att. 4.3. Segmentācijas rezultāti dažādiem ādas veidojumu attēliem.

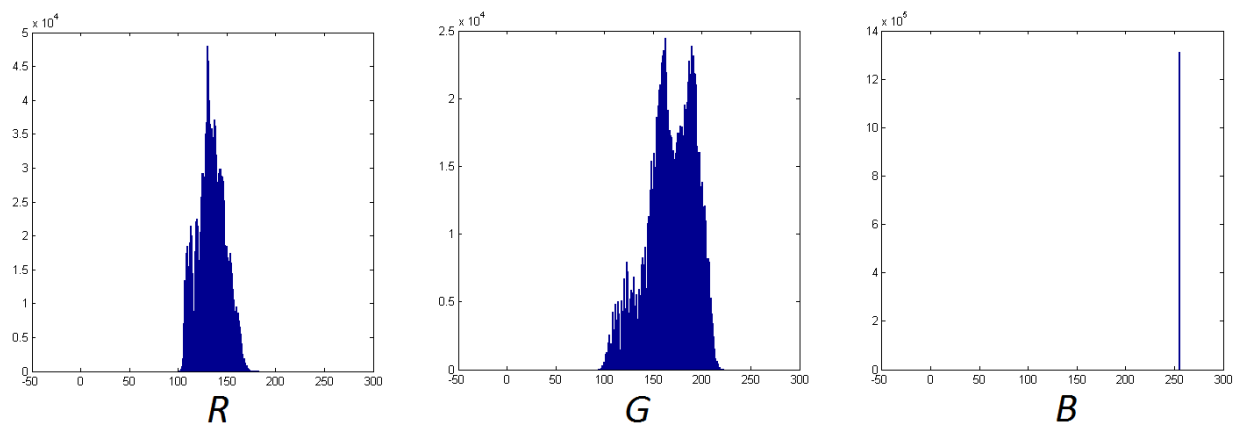
## 5 Programmatūras sagatavošana darbam ar projektā izstrādāto ādas veidojumu attēlu uzņemšanas iekārtu

### 5.1 Iekārtas kalibrēšana

Projektā izveidotā ādas attēlu uzņemšanas iekārta uzņem septiņus attēlus pie dažāda apgaismojuma. Katrā no apgaismojuma variantiem tiek uzņemts RGB attēls, kas sastāv no 3 krāsu kanāliem. Izpētot attēlus, kas uzņemti ar izgatavoto iekārtu, tika secināts, ka pirms praktiskas lietošanas ir nepieciešams veikt tās kalibrēšanu. Nekalibrētas iekārtas septiņi attēli parādīti attēlā 5.1. Daļa attēlu izskatās pārgaismoti, tāpēc tie tika analizēti sīkāk. Bildē 5.2 parādītas 460 nm attēla joslu histogrammas. 3. kanāla histogrammā novērojams, ka visi joslas pikseļi ir ar maksimālo intensitātes vērtību 256 – tātad attēls ir noteikti pārgaismots un nav derīgs tālākai apstrādei. Pie 460 nm apgaismojuma tieši 3. kanāls ir visvairāk interesējošais (vienīgais kanāls, kas no šī attēla tiks lietots tālākā apstrādē), jo tas atbilst zilajai krāsai ar viļņa garumu ~430 nm. Līdzīga atsevišķu kanālu pārgaismošanas problēma novērojama arī to attēlu histogrammās, kas uzņemti pie citiem viļņu garumiem.

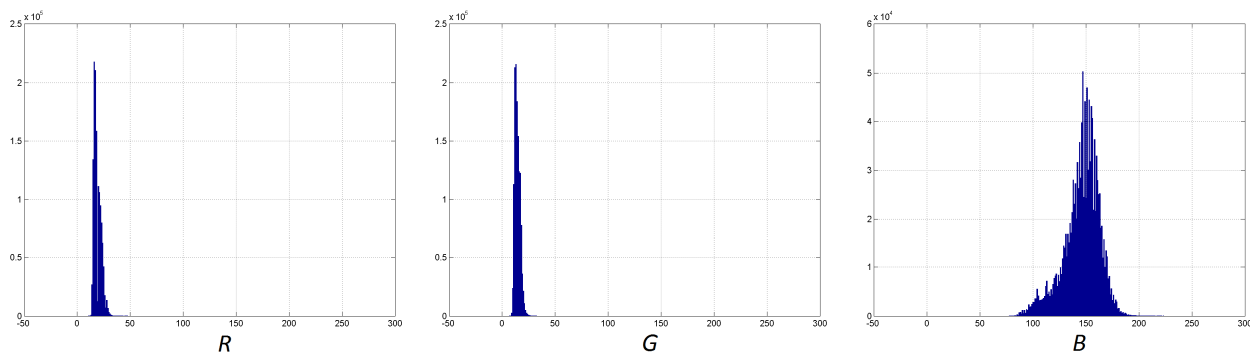


Att. 5.1. Ādas attēli ar nekalibrētu iekārtu.



Att. 5.2. Pie 460nm diodes apgaismojuma uzņemta attēla joslu histogrammas.

Lai atrisinātu šo problēmu, iekārta tika testēta, uzņemot dažāda viļņa garuma attēlus ar samazinātu kameras eksponēšanas parametru. Pie katra iekārtā iestrādāta apgaismojuma veida tika atrasts savs eksponēšanas parametrs, kas nodrošina nepārgaismotu attēlu iegūvi. Piemēram, 460nm apgaismojuma gadījumā, ar samazinātu eksponēšanas parametru iegūtā attēla kanālu histogrammas parādās attēlā 5.3. Šis piemērs jau droši lietojams tālākā apstrādē, jo nevienam pikselim 3. kanālā intensitāte nav lielāka par 200. Konkrētā histogramma parāda, ka būtu iespējams lietot arī lielāku eksponēšanu, tomēr rezerve ir saglabāta apzināti, jo spēcīgs ārējais apgaismojums var palielināt pikseļu intensitāšu vidējo vērtību.



Att. 5.3. Pie 460nm apgaismojuma uzņemta attēla joslu histogrammas pēc iekārtas kalibrēšanas.

Kad ir nofiksēti eksponēšanas parametri pie katra no interesējošajiem viļņa garumiem, parādās iespēja uzņemt attēlu datu kopu, ko tālāk var lietot attēlu apstrādes algoritmu noskaņošanai. Piemēram, segmentācijas gadījumā, ar kalibrēto iekārtu uzņemtie attēli tika izmantoti, lai no jauna uztrenētu mākslīgo neironu tīklu, kas būtu pielāgots jau konkrētai gatavai iekārtai.

Ar kalibrēto iekārtu tika uzņemts arī balta etalona attēls. Šāda etalona attēli, kas ir specifiski konkrētai iekārtai ar konkrētiem eksponēšanas laikiem pie dažādiem viļņu garumiem, tālāk tiek izmantoti ādas attēlu apstrādē, lai no tiem iegūtu optiskā blīvuma attēlus. Pie katras no sešām multispektrālā attēla joslām, optiskā blīvuma attēls tiek iegūts saskaņā ar formulu:

$$I_{OD} = -\log \frac{I}{I_{ref}}$$

kur  $I_{OD}$  - optiskā blīvuma attēls konkrētai joslai,  $I$  - ieejas attēls (konkrētā ādas attēla josla),  $I_{ref}$  - baltā etalona attēls, kas uzņemts ar iekārtu pie tā paša viļņa garuma apgaismojuma kā  $I$ . Optiskā blīvuma attēli tālāk tiek izmantoti ādas veidojuma klasificēšanai.

## 5.2 Iegūto attēlu apstrādes programmatūra

Multispektrālo ādas veidojumu attēlu apstrādes posmi tika apvienoti kopējā MATLAB funkcijā InBiT(), kas arī aprakstīta minētajā dokumentā „Multimodāla biomedicīnas datu attēlošanas tehnoloģija. Tehnoloģijas demonstrators/ programmatūras projekts”.



## 6 Patents uz ierīci melanomas atšķiršanai no dzimumzīmes

Perioda laikā iegūts un publicēts LR patents nr. 14998 (skat. 1. pielikumu).

## 7 Lāzerplastikas klīnikā iegūto datu apkopošana

Tika apkopoti dati par 320 dermatoskopiskajiem attēliem, kas tika veikti ar videodermatoskopu MoleMax. Attēli tika iegūti no dažādām ķermeņa daļām, tai skaitā pēdām, plaukstām un galvas matainās daļas. Pārsvārā tika saglabāti veidojumu attēli, kuri būtu jāmonitorē vai kuri bija jāekscidē. Lielākā daļa veidojumu ir dermatoskopiski atipiski nēvusi. Dažiem no tiem ir pieejami arī attēli dinamikā. Ir arī daži intradermālie nēvusi, parastie nēvusi, kombinētie nēvusi, zilie nēvusi, lentigo. No ļaundabīgajiem audzējiem ir fiksētas bazālo šūnu karcinomas, kuru ir salīdzinoši vairāk, un melanomas.

Daļai ļaundabīgo veidojumu ir histoloģiskais slēdziens, kas apstiprina dermatoskopisko diagnozi (veidojumiem, kas tika ekscidēti Lāzerplastikas klīnikā).

Starp ekscidētajiem veidojumiem liela daļa ir displastiski jeb atipiski nēvusi, zilie nēvusi, kas tika ekscidēti sakarā ar aizdomām par iespējamu melanomu. Ir histoloģiski apstiprināti bazālo šūnu un melanomu gadījumi, kas sniedz precīzu slēdzienu par attēlā redzamo veidojumu.

Tika uzsākta jaunizveidotās multimodālās kameras aprobācija uz pacientiem, reģistrējot ādas veidojumus, pārsvārā dažāda veida dzimumzīmes. Tika veikta dermatoskopisko un ar projekta ietvaros izstrādāto ierīci iegūto attēlu salīdzinoša analīze. Balstoties uz šīs analīzes rezultātiem izdarītiem secinājumiem, tika uzlabota ar ierīci iegūto attēlu kvalitāte, palielinot ādas apgaismošanas intensitāti un nomainot kameras moduli.

## 8 Projekta rezultātu apkopošana populārzinātniskā publikācijā

Galvenie projekta rezultāti tika apkopoti brošūrā „Inovātivas biomedicīnisku attēlu iegūšanas un apstrādes tehnoloģijas. InBiT”, kas tika izdrukāta 200 eksemplāros, izplatīta interesentiem projekta noslēguma seminārā un kuru projekta dalībnieki turpinās izplatīt, tādejādi popularizējot projekta pētījumu tēmas un sasniegumus. Brošūras teksts pievienots 2. pielikumā.

## 9 Fluorescences spektroskopijas un attēlošanas izmantošana elektroforēzes un sonoforēzes iedarbības novērtēšanai

Perioda laikā tika turpināta elektroforēzes un sonoforēzes efektivitātes novērtēšana ilgā laika periodā (virs viena gada) ar neinvazīvām metodēm - fluorescences spektroskopiju un attēlošanu. Zaļā fluorescences proteīna (GFP) ievadīšana pelēm un novērošana ilgā laika periodā tika izvēlēta kā piemērotākais modelis elektroforēzes un sonoforēzes ilglaicīgās iedarbības novērtēšanai, izmantojot standarta jeb tipiskākos iestatījumus, kā arī kombinācijas šūnu forēzei. Pētījumā tika demonstrēts, ka fluorescences spektroskopija un attēlošana var tikt izmantota neinvazīvai terapijas metožu efektivitātes novērtēšanai, uzrādot augstu korelāciju starp fluorescences *in vivo* un *ex vivo* mērījumiem ( $R^2 = 0.94$ ), kā arī fluorescences *in vivo* un biopsijas mērījumiem ( $R^2 = 0.9$ ). Fluorescences attēlošana sniedz papildus informāciju par terapijas metožu iedarbības laukumu, šajā

gadījumā - šūnu forēzei pakļauto muskuļu šķiedru skaitu. Fluorescence kā neinvazīva monitoringa metode ļauj novērot terapijas iedarbību ilgākā laika periodā, neveicot biopsijas vai neiznīcinot paraugus, tādējādi arī samazinot dzīvnieku modeļu skaitu, kas būtu nepieciešami šādu metožu tālākiem pētījumiem. Uz multispektrālās kameras Nuance EX bāzes izveidotā multimodālā attēlu iegūšanas ierīce ir piemērota arī mērījumu veikšanai uz dzīvnieku modeļiem, var tikt izmantota turpmākiem elektroforēzes un sonoforēzes iedarbības novērtēšanas pētījumiem zāļu un gēnu kontrolētai ievadīšanai šūnās.

Ilglaicīgā abu terapijas metožu monitoringā tika konstatēts, ka elektroforēze, izmantojot vienu īsu augsta sprieguma un četrus garākus zema sprieguma elektriskos impulsus, ir efektīvākā terapijas metode zaļā fluorescējošā proteīna ievadīšanai šūnās - iedarbības rezultāts novērojams arī gadu pēc terapijas procedūras veikšanas. Turpretī sonoforēze, kas tiek uzskatīta par alternatīvu metodi elektroforēzei, bieži vien neuzrādīja apmierinošu rezultātu GFP ievadīšanai šūnās. Minētie rezultāti ir unikāli nepārtrauktu un regulāru mērījumu ilglaicībā, sniedz papildus zināšanas par abu minēto terapijas metožu iedarbību. Pētījuma rezultāti ir apkopoti zinātniskā rakstā "Non-invasive optical diagnostics of EGFP expression in skeletal muscle for comparison of electroporation and sonoporation efficiencies" un iesniegti publicēšanai žurnālā „Journal of Biomedical Optics”. Iesniegtā raksta kopija, kas ir uzlabota iepriekšējā pārskata periodā iesniegtās raksta sagataves versija, ir pievienota atskaites 3. pielikumā.

## 10 Secinājumi

Pēdējā pārskata perioda beigās izdarīti secinājumi par projekta izpildi kopumā. Apkopojot paveikto, secinām, ka:

- izpildīti (ar uzviju) visi plānotie projekta aktivitātes „Pētniecība” uzdevumi, tajā skaitā:
  - izstrādāta multimodāla biomedicīnisku attēlu iegūšanas tehnoloģija un izgatavots tās demonstrators- maketierīce, kas ļauj iegūt remisijas, fluorescences un lāzerspeklu attēlus, pārsūtīt tos uz datoru, viedtālruni vai citu ierīci bezvadu sakaru režīmā, kā arī izstrādāta programmatūra iegūto attēlu apstrādei datorā;
  - iegūts LR patents uz ierīci, kas balstās uz izstrādāto tehnoloģiju un realizē melanomu atšķiršanu no dzimumzīmēm, izmantojot šo ādas veidojumu attēlu iegūšanu un apstrādi;
  - projektā iegūtie rezultāti atainoti 8 zinātniskos rakstos, kas publicēti vai pieņemti žurnālos, kuri tiek indeksēti starptautiskās zinātniskās literatūras datu bāzēs. Vēl viens raksts sagatavots un iesniegts šādam žurnālam;
  - projektā iegūtie rezultāti prezentēti, nolasot 16 referātus starptautiskās konferencēs.
- Projektā iegūtie rezultāti būtiski attīsta biomedicīnisku attēlu iegūšanas un apstrādes teorētisko bāzi un pielietojuma aparatūras izstrādes praksi, sekmējot tālākus pētījumus un izstrādes šajā jomā.

**Pielikums Nr.1. Iegūtais LR patents nr.14998.**

**Pielikums Nr.2. Brošūra „Inovatīvas biomedicīnisku attēlu iegūšanas un apstrādes tehnoloģijas. InBiT”.**

**Pielikums Nr.3. Raksts „Non-invasive optical diagnostics of EGFP expression in skeletal muscle for comparison of electroporation and sonoporation efficiencies”**