

Ļaundabīgu ādas veidojumu diagnostikas metodika, izmantojot bezkontakta attēlošanu šaurās redzamā un infrasarkanā spektra joslās

Ievads

Uz cilvēka ādas atrodami gan labdabīgi pigmentēti veidojumi (piemēram, nēvuss), gan arī ļaundabīgi audzēji, tajā skaitā bazālo šūnu karcinoma un melanoma, kas var metastazēties un izraisīt nāvi. Agrīnā stadijā melanomas var būt vizuāli līdzīgas nēvusiem un seborejas keratozēm, tāpēc ir svarīgi ievērot specifiskās klīniskās pazīmes, veicot profesionālu dermatoskopiju. Kvantitatīvai diagnostikai un profilaktiskam melanomas skrīningam ir vērtīgi papildus veikt ādas veidojumu multispektrālu attēlu analīzi, pateicoties tam, ka gaismai dažādos spektra apgabalos raksturīgs atšķirīgs iespiešanās dziļums ādā. Kā liecina iepriekšējie pētījumi, melanomu, kas veidojas vairāku mm dziļumā ādas dermālajā slānī, iespējams labāk identificēt tuvā infrasarkanā diapazona spektrālajos attēlos, jo šajā spektra diapazonā gaisma iespiežas ādā dziļāk, nekā redzamajā spektra daļā.

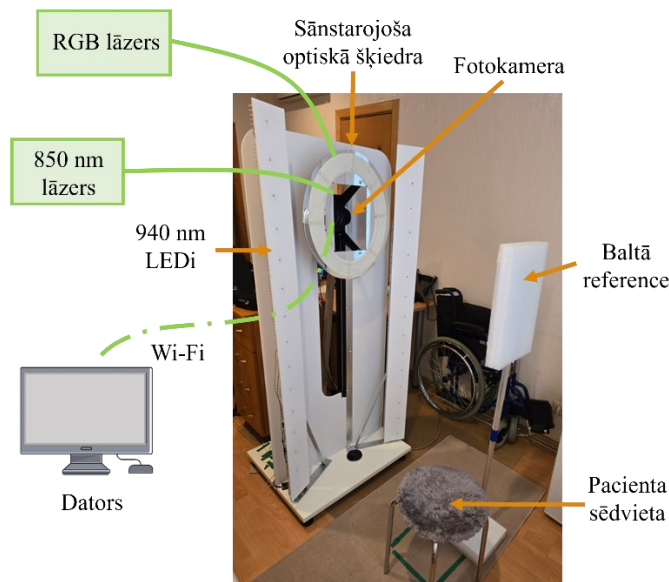
Projekta „Visa ķermeņa dermoskopiska attēlošana spektra redzamajā un infrasarkanajā diapazonā” laikā uzņemti pacientu onkoloģisku ādas veidojumu multispektrālie attēli vairākās redzamā diapazona un tuvā infrasarkanā diapazona lāzeru spektrālīniju apgaismojuma kombinācijās. Rezultāti piedāvā perspektīvu bezkontakta diagnostikas metodiku ādas audzēju ātrākai atklāšanai. Projektā pilnveidots iepriekšējā pētījumā [1] izstrādātais un klīniski apbētais iekārtas prototips pilna ķermeņa multispektrālai attēlošanai redzamajā spektra diapazonā, papildus nodrošinot infrasarkanā attēlu uzņemšanu pie 850 nm. Trīs redzamo spektrālīniju (450 nm, 520 nm, 638 nm) attēli ļauj novērtēt pacienta ādas epidermas veidojumus, kas lielāki par 1 mm, un kartēt galveno ādas hromoforu izmaiņas katrā no veidojumiem, šķirojot tos atbilstošās patoloģiju grupās [1]. Pateicoties dziļākai gaismas spējai iekļūt ādā, paralēli uzņemtie tuvā infrasarkanā diapazona attēli ļauj izšķirt ļaundabīgos audžus ādas dermālajā slānī, izmantojot veidojumu spektrālo attēlu specifiskus parametrus.

1. Izmantojamā aparatūra

Diagnostiskā ierīce parādīta 1. attēlā, tā sastāv no spektrālīniju apgaismošanas moduļa un augstas izšķirtspējas attēlošanas moduļa. Apgaismošanas modulis nodrošina vienlaicīgu vai secīgu redzamo spektrālo līniju emisiju ar viļņu garumiem 450 nm, 520 nm un 638 nm no RGB (red-green-blue) lāzera un 850 nm no infrasarkanā lāzera. Katra lāzera izejas starojums tiek ievadīts savā sānstarojošo optisko šķiedru spirālē; abas šķiedru spirāles ir pielīmētas pie spoguļvirsmas un nodrošina vienmērīgu pacienta ādas apgaismojumu pie visiem minētajiem viļņu garumiem. Lai izvairītos no iespējamiem acu bojājumiem šādā apgaismojumā, pacientiem un personālam jālieto aizsargbrilles. Ādai izmeklējums ir nekaitīgs - kopējais visu spektrālīniju apgaismojuma jaudas blīvums darba attālumā 70 cm nepārsniedz 1 mW/cm^2 , t. i., ir krietni zem lāzeru drošības limita 200 mW/cm^2 .

Koncentrisko šķiedru spirāļu iekšpusē ievietota augstas izšķirtspējas krāsu kamera (6376x9668 pikseļi) ar noņemtu infrasarkanā starojuma bloķējošo filtru, kas dod iespēju uzņemt ādas infrasarkanos attēlus pie 850 nm. Kameru kopā ar apgaismojuma šķiedru spirālēm var pārvietot vertikāli (0.5m ... 1.5m),

[1] J.Spigulis, U.Rubins, E.Kviesis-Kipge, I.Saknīte, 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.



1. att. Iekārta lielu ādas laukumu bezkontakta VIS-NIR multispektrālai attēlošanai.

izmantojot vadāmu soļu dzinēju. Katrs krāsu attēls, kas iegūts noteiktā apgaismojuma spektrālīniju kombinācijā (piemēram, 450/520/850 nm), tiek pārsūtīts uz datoru, kurā ar speciālas programmas palīdzību no attēla datu kopas izdala šaurjoslas spektrālos attēlus pie katra apgaismojuma viļņu garuma un tālāk automātiski veic katras spektrālo attēlu kopas analīzi, aprēķinot ādas veidojumu diagnostiskos parametrus un rezultātus izvadot uz monitora. Darba režīmam ir izveidota īpaša operatora pults (sk. pielikumu). Aparatūras konstrukcija nodrošina ērtu ekspluatāciju klīniskā vidē, augstu attēlošanas spektrālo izšķirtspēju un ātru diagnostikas procedūru.

2. Pacienta ādas apgabala spektrālās attēlošanas procedūra

Ādas apgabalu (ar aizdomīgiem veidojumiem) attēlu uzņemšana notiek aptumšotā telpā vai īpaši šim nolūkam ierīkotā teltī, ja nav iespējams izslēgt ārējo apgaismojumu. Atbilstoši pults instrukcijai (pielikumā), ar tās slēdžiem pēc aptumšošanas ieslēdz vajadzīgo pacienta apgaismojuma spektrālīniju kombināciju un vispirms kalibrācijai uzņem baltas atstarojošas virsmas (baltās references) attēlu 70 cm attālumā no kameras objektīva. Tad pacients uzliek aizsargbrilles, atkailina izmeklējamu ādas rajonu un nostājas vai apsēžas pretī kameras objektīvam 70 cm attālumā; augstuma salāgošanai kameru kopā ar spirālveida apgaismotāju var pārvietot vertikālā virzienā, izmantojot pults slēdzi. Fotoaparāta redzes zonā līdzās pacientam novieto arī balto referenci, tad izslēdz telpas apgaismojumu un nospiež fotoaparāta slēdzi. Ja nepieciešams, šādu procedūru atkārto pie vairākām apgaismojuma spektrālīniju kombinācijām. Primāri izmantojama apgaismojuma spektrālīniju kombinācija 450/520/850 nm; detalizētākai analīzei papildus izmantojami attēli vienas spektrālīnijas apgaismojumā pie 638 nm un pie 450 nm.

3. Diagnostiskie kritēriji ādas audzēju noteikšanai

Triju spektrālīniju apgaismojumā uzņemtie ādas apgabala krāsu attēlu dati tiek salīdzināti ar baltās references attēla datiem, rezultātā izfiltrējot katram apgaismojuma viļņu garumam atbilstošus trīs ādas spektrālos attēlus; šī procesa detaļas ir aprakstītas darbā [2]. Ārsts attēlos iezīmē interesējošos apgabalus

(RoI), kas ietver veidojumu un ap to esošo veselo ādu. Nākamajā solī programma katram RoI katrā veidojuma spektrālajā attēlā aprēķina ādas audzēju noteikšanai izmantojamus parametrus:

- Veidojuma apaļums (*Roundness*): $R = 4\pi \cdot A / P$, kur A – veidojuma laukums, P – perimetrs,
- Veidojuma kontrasts (*Contrast*) spektrālajā attēlā: $C = I_{ves} / I_{veid}$, kur I_{ves} – vidējā reģistrētā intensitāte no veselas ādas apgabala, kas aptver veidojumu, I_{veid} – vidējā reģistrētā intensitāte no veidojuma apgabala,
- Kontrastu attiecības dažādu viļņu garumu spektrālajos attēlos: $p_{450} = \frac{C_{638} \cdot C_{850}}{C_{450}}$ un $p_{520} = \frac{C_{638} \cdot C_{850}}{C_{520}}$
- Pikseļu intensitāšu sadalījums veidojuma spektrālajā attēla, ko raksturo relatīvā standartnovirze **STD** (plašāks skaidrojums sniegts darbā [2]),
- Autofluorescences intensitāte **AF** no veidojuma un apkārtējās veselās ādas apgabaliem pie 450 nm apgaismojuma.

Šo parametru vērtību automātisku aprēķinu un izvadīšanu uz displeja veic projekta laikā izstrādātā datorprogramma, kas instalēta prototipa ierīces datorā. Izdarot secinājumus no iegūtajiem rezultātiem klīniskajos mērījumos Latvijas Onkoloģijas centrā [2], ātrai ādas audzēju atpazīšanai izmantotajiem šādi kritēriji jeb diagnostisko parametru kopumi (kas iekārtas displejā tiek īpaši izcelti):

- No viena momentuzņēmuma 450/520/850 nm spektrālajiem attēliem:
 - o $R_{520} < 0.8$ un $C_{850}/R_{520} > 1.4$
 - o Melanomas kritēriji: $C_{850} > 1.1$ un $STD_{850} > 0.07$
- No divu momentuzņēmumu 450/520/850 nm un 638 nm spektrālajiem attēliem:
 - o $R_{520} < 0.8$, $C_{638} > 1.1$ un $C_{850} > 1.1$
 - o Melanomas kritēriji: $p_{450} < 1.1$ un $p_{520} < 1.0$
- Papildus kritērijs – G-kanāla AF signāls 450 nm apgaismojumā: $I_{veid} < I_{ves}$.

Vairāku kritēriju sakritību fiksē datorprogramma, izvadot uz monitora pārbaudes slēdzienu; varianti:

- A. Šķietami nekaitīgs ādas veidojums.
- B. Iespējama melanoma.
- C. Iespējama bazālo šūnu karcinoma.

Prototipa vadības pults lietošanas instrukcija



2. att. Vadības pults kopskats.

Ieslēgšana – korpusa augšpusē pārslēdzot slēdzīti uz pozīciju “1”. Par ieslēgtu pulti liecina priekšpusē spīdoša zaļas krāsas gaismas diode ar uzrakstu “Baterija”.

Izslēgšana - korpusa augšpusē pārslēdzot slēdzīti uz pozīciju “0”. Kad pults ir izslēgta, zaļas krāsas gaismas diode ar uzrakstu “Baterija” nespīd.

Sagatavošanās darbam – ieslēgt barošanu prototipa ierīcei. Lāzeru nodalījumā sāk mirkšķināties oranžas krāsas gaismas diode tik ilgi, kamēr notiek automātiska pieslēgšanās pie wi-fi tīkla. Pēc tam gaismas diode izdziest. Ieslēgt pulti (sk. Ieslēgšana). Pēc ~2 sekundēm lāzeru nodalījumā ieslēdzas (pastāvīgi spīd) oranžas krāsas gaismas diode, kas liecina, ka pults ir pilnīgi gatava darbam ar prototipa ierīci.

Lāzeru ieslēgšana/izslēgšana – uz pults īsi nospiež (un atlaiž) lāzeru ieslēgšanas/izslēgšanas pogas ar uzrakstiem “Sarkans”, “Zaļš”, “Zils”, “InfraSark.”. Pēc pogas nospiešanas ieslēdzas atbilstošās krāsas lāzers. Nospiež (un atlaiž) atbilstošo pogu otrreiz, lai izslēgtu ieslēgto lāzeri. Lietot aizsargbrilles!

Infrasarkano gaismas diožu ieslēgšana/izslēgšana - uz pults īsi nospiež (un atlaiž) pogu ar uzrakstu “InfraSark. LED”. Infrasarkanās gaismas diodes ieslēdzas (starojums nav redzams ar neapbruņotu aci). Prototipa ierīces lāzeru nodalījumā iespējama sīcoša skaņa, kamēr ieslēgtas šīs gaismas diodes, tas nav defekts vai bojājums, bet gan normāls darbības stāvoklis. Nospiež (un atlaiž) pogu otrreiz, lai izslēgtu ieslēgtās infrasarkanās gaismas diodes. Diožu starojuma intensitāti var palielināt un samazināt pagriežot pogu attiecīgi “-” vai “+” virzienā. Poga atrodas prototipa ierīces lāzeru nodalījumā ar uzrakstu “InfraSark. Intensitāte”. Lietot aizsargbrilles!

Foto kameras pārvietošana – īsi nospiežot (un atlaižot) pogu “Motors” uz pults, kamera ar lāzeru starotāju šķiedrām pārvietojas uz augšējo vai zemāko pozīciju. Vidusstāvoklī motoru nevar apturēt. Kamēr notiek pārvietošanās (vai nu uz augšu vai leju), atkārtota pogas “Motors” nospiešana uz pults nereaģē!

Fotografēšana – īsi nospiežot un atlaižot pogu “Foto” uz pults, tiek uzņemta viena fotogrāfija. Fotografēšanas brīdi apstiprina raksturīga fotoaparāta klikšķēšana. Atkārtoti nospiežot pogu “Foto” tiek uzņemta nākošā fotogrāfija.

Iepriekš iestatītie režīmi – pultī ir trīs pogas P1, P2, P3, kas nozīmē, ka katrā no šīm pogām ir iespējams saglabāt prototipa ierīces secīgu darbību. Pogas ir programmējamas ar brīvi izvēlētām un izpildāmām darbībām. Piemēram, nospiežot pogu “P1” var tik izpildīta iepriekš atmiņā ierakstīta darbību secība - ieslēgt sarkano lāzeru, tad pagaidīt 100ms, uzņemt vienu fotogrāfiju, ieslēgt infrasarkanā lāzeri, pagaidīt 100ms, uzņemt vienu fotogrāfiju, izslēgt abus lāzerus, pārvietot kameru uz augšējo pozīciju, ieslēgt zaļo lāzeri un uzņemt fotogrāfiju.... Šis režīms operatoram atvieglo vienu un to pašu darbību veikšanu, jo visiem izmeklējamajiem pacientiem foto uzņemšana un apgaismošana notiek vienādi precīza.

Akumulatora uzlāde – pultī ir iebūvēts litija jonu akumulators. Akumulators ir izlādējies, tad kad pulsts augšpusē pie uzraksta “Baterija” iemirgojas sarkanas krāsas gaismas diode. 1x ik pēc 3 sekundēm norāda, ka akumulatorā ir 20 – 30% lādiņš, 1x ik pēc 2 sekundēm norāda ka palikuši 10 – 20% no akumulatora pilnas uzlādes, 1x sekundē mazāk par 10%. Kad akumulators izlādēsies pulsts automātiski izslēgsies, nodzisīs zaļā gaismas diode un sarkanā. Prototipa ierīces lāzera nodalījumā izdzīsīs oranžā gaismas diode. Pievienot USB-C kabeli pulsts labajā pusē esošā ligzdā, lai uzlādētu iebūvēto akumulatoru. Pilna uzlāde notiek ~2 stundās.



3. att. Vadības pulsts – korpusa labajā pusē USB-C ligzda iebūvētā akumulatora uzlādei.



4. att. Vadības pulsts – korpusa augšpusē ieslēgšanas slēdzis (izslēgts – pozīcija “0”).