

Termovizoriaus galimybės planuojant atlikti rekonstrukcinę operaciją, naudojant laisvąjį perforacinį lopa

Adas Čepas

Plastinės ir rekonstrukcinės chirurgijos klinika, Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninė Kauno klinikos, Kaunas, Lietuva
Plastic and Reconstructive Surgery Department, Hospital of Lithuanian University of Health Sciences Kauno klinikos, Kaunas, Lithuania
Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Kaunas, Lietuva
Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
El. paštas adascepas@yahoo.com

Mantas Fomkinas

Plastinės ir rekonstrukcinės chirurgijos klinika, Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninė Kauno klinikos, Kaunas, Lietuva
Plastic and Reconstructive Surgery Department, Hospital of Lithuanian University of Health Sciences Kauno klinikos, Kaunas, Lithuania
Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Kaunas, Lietuva
Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
El. paštas mfomkinas@gmail.com

Simas Gindriūnas

Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Kaunas, Lietuva
Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
El. paštas simas.gindriunas@gmail.com

Kasparas Budreckis

Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Kaunas, Lietuva
Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
El. paštas kasparas.budreckis@gmail.com

Loreta Pilipaitytė

Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Kaunas, Lietuva
Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
Plastinės ir rekonstrukcinės chirurgijos klinika, Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninė Kauno klinikos, Kaunas, Lietuva
Plastic and Reconstructive Surgery Department, Hospital of Lithuanian University of Health Sciences Kauno klinikos, Kaunas, Lithuania
El. paštas Loreta.Pilipaityte@kaunoklinikos.lt

Domantas Rainys

Plastinės ir rekonstrukcinės chirurgijos klinika, Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninė Kauno klinikos, Kaunas, Lietuva
Plastic and Reconstructive Surgery Department, Hospital of Lithuanian University of Health Sciences Kauno klinikos, Kaunas, Lithuania
Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Kaunas, Lietuva
Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania
El. paštas domantas.rainys@gmail.com

Received: 2022/04/11. **Accepted:** 2022/06/30.

Copyright © 2022 Adas Čepas, Mantas Fomkinas, Simas Gindriūnas, Kasparas Budreckis, Loreta Pilipaitytė, Domantas Rainys. Published by Vilnius University Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Licence, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Santrauka. Įvadas. Priešoperacinis ištyrimas ir operacijos plano sudarymas yra pagrindiniai sėkmingos operacijos žingsniai, atliekant rekonstrukcijas mikrochirurginiais audinių lopais. Šio tyrimo tikslas – palyginti išmaniesiems telefonams pritaikyto termovizoriaus diagnostinį suderinamumą su delniniu ultragarsiniu dopleriu, nustatant odą maitinančias perforantes, naudojant priekinį ir šoninį šlaunies lopą (ALT). *Metodai.* Diagnostinių tyrimų lyginamoji analizė atlikta 2020–2022 m. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninės Kauno klinikų Plastinės ir rekonstrukcinės chirurgijos klinikoje. Į tyrimą įtraukti klinikoje gydyti pacientai, kuriems buvo atliekamos rekonstrukcinės operacijos, naudojant ALT lopą, ir kraujagyslių sistemos ligų neturintys savanoriai, sutikę dalyvauti tyrime. Tiriamiesiems tipinėje ALT lopo zonoje buvo atliekamos dinaminės termogramos FLIR One PRO® termovizoriumi. Tiriamojo anketoje buvo pažymimas termogramose nustatytų „karštų taškų“ skaičius ir šių taškų atstumas nuo priekinio viršutinio klubakaulio dyglio. Vėliau tyrimas pakartotas delniniu ultragarsiniu dopleriu ir atlikta „karštų taškų“ kontrolė. Apdorojus duomenis, atlikti jautrumo ir specifiškumo skaičiavimai. Tyrimo metodų sutariamumui nustatyti skaičiuotas Koheno kapos matas. Statistinei duomenų analizei taikytas IBM SPSS 23.0 paketas. *Rezultatai.* Iš viso ištirta 100 priekinio ir šoninio šlaunies lopo zonų. Termovizoriumi nustatyti 266 „karšti taškai“, delniniu ultragarsiniu dopleriu išskirtos 275 perforantės. Termovizoriumi nustatyti „karšti taškai“ delniniu ultragarsiniu dopleriu kaip odos perforantės patvirtinti 96,6 proc. atvejų. Termografijos jautrumas ir specifiškumas, nustatant odos perforantes, palyginti su delniniu ultragarsiniu dopleriu gautais rezultatais, siekė atitinkamai 93,5 proc. ir 96,9 proc. Tyrimų sutariamumo Koheno kapos matas – 0,095 ($p = 0,001$). *Išvados.* Termografinių vaizdų, gautų išmaniesiems telefonams pritaikytomis terminėmis kameromis, suderinamumas su doplerio ultragarso, dažniausiai taikytino perforantėms nustatyti, duomenimis yra aukštas. Be to, termografijos jautrumas ir specifiškumas nenusileidžia tradicinių metodų, taikytinų perforantėms nustatyti, analogiškiems rodikliams, taigi termografija gali būti laikoma naudingu priedu, taikant įprastus tyrimo metodus.

Reikšminiai žodžiai: rekonstrukcinė chirurgija, perforacinis lopas, termovizorius, termograma.

The Use of Thermal Imaging in Free Perforator Flap Planning

Abstract. *Background.* Preoperative planning and design of microsurgical perforator flaps are the main steps for successful operation. The aim of this study was to determine the concordance between thermographic images obtained with smartphone thermal imaging camera and hand-held Doppler in the anterolateral thigh flap (ALT) model. *Methods.* A concordance study of diagnostic tests was carried out in Hospital of Lithuanian University of Health Sciences Kaunas Clinics, Plastic and Reconstructive Surgery Department during 2020–2022. Patients who were scheduled to undergo reconstruction with ALT flap and healthy volunteers were included in the study. Dynamic thermal images were performed with smartphone thermal camera FLIR One PRO in the typical ALT flap territory. The number and distance of hotspots in the thermogram with respect to anterior superior iliac spine were recorded in the study protocol. Later, the examination was repeated with hand-held Doppler and the control of hotspot was performed. Sensitivity, specificity and concordance index calculations were performed. Statistical analysis was performed using IBM SPSS 23.0. *Results.* A total of 100 ALT flap territories were examined. 266 hotspots were detected with thermal imaging and 275 perforators with hand-held Doppler. In 96.6% of cases, hotspots detected by a thermal camera were confirmed by hand-held Doppler as perforators. The sensitivity and specificity of thermography for the detection of perforators with respect to the hand-held Doppler were 93.5% and 96.9% respectively. The measure of concordance kappa index was 0.095 ($p = 0.001$). *Conclusion.* Smartphone thermal imaging have a high concordance with hand-held Doppler in perforator mapping, thus could be considered a useful adjunct to conventional methods.

Key words: surgical procedure, reconstructive, flap, microsurgical, thermal-imaging.

Įvadas

Pagrindiniai iššūkiai, su kuriais susiduriama planuojant rekonstrukcines operacijas, naudojant laisvuosius perforacinius lopus, – priešoperacinis odą maitinančių perforančių nustatymas ir parinkimas. Šis tyrimas kiekvienam pacientui yra individualus ir turi būti kruopščiai atliktas [1, 2]. Perforantėms nustatyti naudojami papildomi instrumentiniai tyrimai: kompiuterinės tomografijos (KTA) ar magnetinio rezonanso angiografija, spalvinė doplerosonografija, delninis ultragarsinis dopleris [3]. Dėl aukšto jautrumo ir specifiškumo, nustatant odą maitinančias perforantes, vadinamuoju auksiniu standartu laikoma KTA. Vis dėlto KTA naudojami parametrai lemia sąlygiškai didelę apšvitą pacientui. Be to, atliekant tyrimą, naudojamas intraveninis kontrastas, kuris gali sukelti nepageidaujamų reiškinių ar reikšmingai pabloginti paciento būklę. Kiti tyrimo metodai (doplerosonografija, delninis ultragarsinis dopleris), nors ir ne tokie jautrūs ir specifiški kaip KTA, lengviau pritaikomi kasdienėje klinikinėje praktikoje: šių metodų prieinamumas yra didesnis, juos nesudėtinga atlikti pacientui gulint lovoje, jie nereikalauja didelių finansinių kaštų ir žmogiškųjų išteklių. Vienos nuomonės, kurį tyrimo metodą rinktis planuojant rekonstrukcines operacijas, naudojant laisvuosius perforacinius lopus, nėra, tačiau pasirenkamas tyrimo būdas turėtų atitikti šiandienos medicinos standartus, t. y. būti tikslus, praktiškas, lengvai pasiekiamas ir nežalingas pacientui, todėl ieškoma naujų, neinvazyvių, patogių naudoti tyrimo metodų, kurie padėtų planuoti minėtas operacijas [3].

Pastarąjį dešimtmetį medicinoje pradėtos plačiai naudoti terminės vaizdo kameros, pavyzdžiui, diagnozuojant krūtų navikus, nustatant nudegimų gylį ir kt. [4, 5]. Technologijoms tobulėjant, siekiama kompaktiško, aukštos raiškos terminio vaizdo. Prieš keletą metų publikuoti pirmieji straipsniai apie išmaniesiems telefonams pritaikytas terminio vaizdo kameras ir jų panaudojimą rekonstrukcinėje chirurgijoje, nustatant perforacinių lopų perforantes, stebint persodintų audinių kraujotaką [6]. Pirmųjų tyrimų rezultatai atrodo daug žadantys, jautrumu ir specifiškumu terminės vaizdo kameros, taikytinos perforantėms nustatyti, nenusileidžia tyrimų, atliekamų delniniu ultragarsiniu dopleriu ir KTA, rezultatams. Taip pat pabrėžtinai minėtų kamerų privalumas stebint lopus, kurių gyvybingumo negalima įvertinti klinikiškai būdu (pavyzdžiui, raumens lopų) [6–8].

Atliekant straipsnyje pristatomą tyrimą, siekta palyginti išmaniojo mobiliojo telefono priedo – terminės vaizdo kameros – diagnostines galimybes su tradiciniais diagnostikos metodais, nustatant perforacinių audinių lopų perforantes.

Metodika

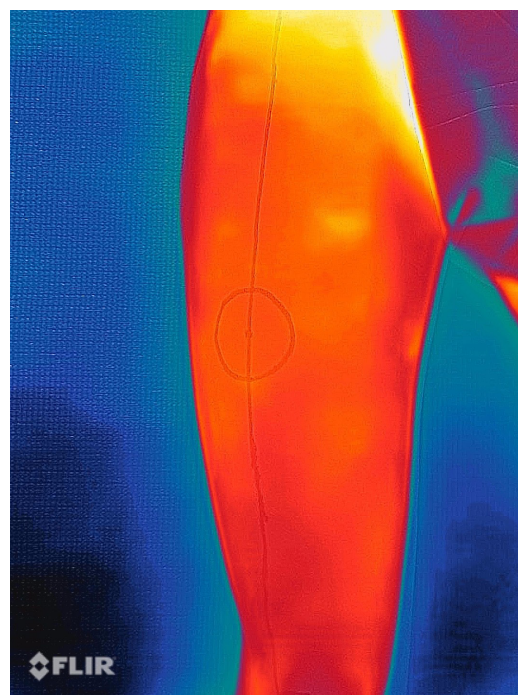
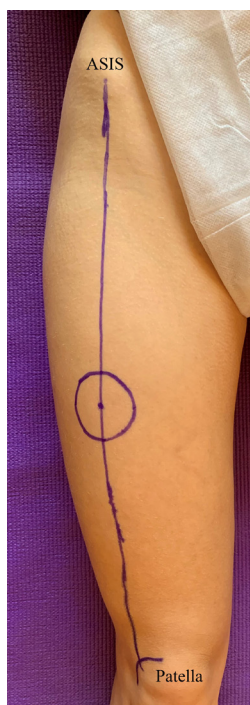
Perspektyvusis diagnostinių metodų tikslumo lyginamasis tyrimas buvo atliekamas 2020–2022 m. Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninės Kauno klinikų Plastinės ir rekonstrukcinės chirurgijos klinikoje. Tyrimo metu išmaniojo mobiliojo telefono priedo – terminės vaizdo kameros – jautrumas ir specifiškumas lygintas su delniniu ultragarsiniu dopleriu gautais rezultatais, nustatant odą maitinančias perforantes, naudojant priekinį ir šoninį šlaunies lopą (ALT). Tyrimui atlikti gautas Kauno regiono Biomedicininų tyrimų komiteto leidimas Nr. BE-2-12.

Į tyrimą įtraukti savanoriai (suaugę, neturintys gretutinių ligų, savanoriškai sutikę dalyvauti tyrime) ir klinikoje gydyti pacientai, kuriems buvo numatytos rekonstrukcinės operacijos, naudojant ALT lopą.

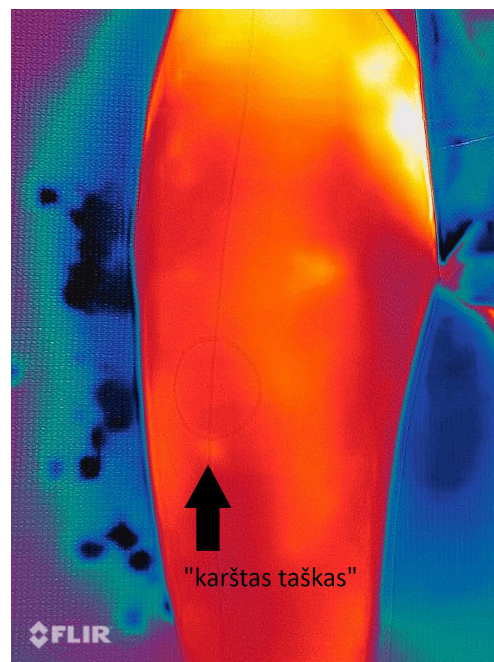
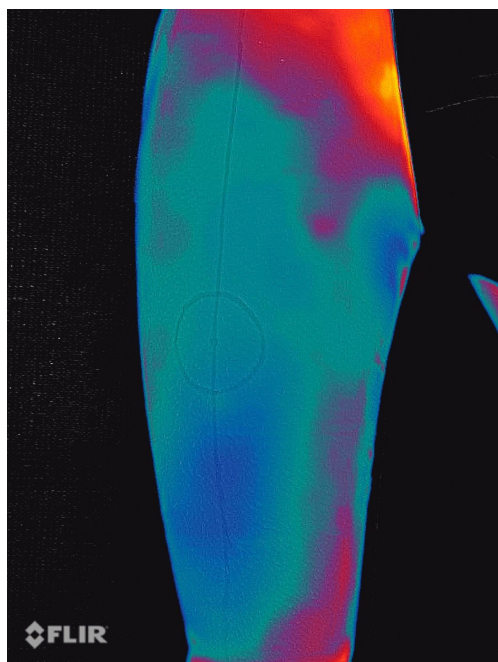
Tiriamiesiems nupieštas ALT lopas priekiniame ir šoniniame šlaunies paviršiuje: nubrėžta tiesė, jungianti priekinį viršutinį klubakaulio dyglį (ASIS) su šoniniu viršutiniu girnelės kraštu. Žymikliu pažymėtas taškas, dalijantis tiesę į dvi lygias dalis. Nuo šio taško nubrėžtas 5 cm skersmens apskritimas, kuriame ieškota odą maitinančios perforantės (1 pav.). Prieš tiriant termovizoriumi, tiriamoji sritis atvėsinta įprastu chirurginiu antiseptiku, jį užpurškiant ant šlaunų priekinių ir šoninių paviršių odos („šalčio iššūkis“) (2–3 pav.). Antiseptikui nudžiūvus, praėjus 2 min., kambario temperatūroje (22 °C) buvo atliekamos dinaminės termogramos termovizoriumi (*FLIR One PRO*®, *FLIR Systems Inc., Wilsonville, Ore.*), raudonu žymikliu ant odos pažymėti „karšti taškai“, tiriamojo anketoje pažymėtas nustatytas „karštų taškų“ skaičius ir šių taškų atstumas nuo priekinio viršutinio klubakaulio dyglio (4 pav.).

Kitas tyrimo etapas – kontrolė delniniu ultragarsiniu dopleriu (*Huntleigh SD2*®, *Huntleigh Healthcare Ltd., Cardiff, UK*). Tikrinta, ar termovizoriumi nustatyti ir ant odos pažymėti „karšti taškai“ sąlygos delninio ultragarsinio doplerio signalą, būdingą esant odos perforantėms. Visa tiriamoji sritis pakartotinai iširta dopleriu, nustatytos odos perforantės mėlynu žymikliu pažymėtos ant odos, duomenys apie nustatytą perforančių skaičių ir jų atstumą nuo ASIS pažymėtos tiriamojo anketoje.

Apdorojus gautus duomenis, atlikti termovizoriaus jautrumo ir specifiškumo skaičiavimai, atsižvelgiant į delninio ultragarsinio doplerio rezultatus. Pateikti gautų įverčių vidurkiai ir standartinės deviacijos (SD). Tyrimo metodų sutariamumui nustatyti skaičiuotas Koheno kapos matas (angl. *Cohen's Kappa index*). Statistinė duomenų analizė atlikta naudojant statistinės analizės programinę įrangą IBM SPSS (angl. *Statistical Package for the Social Sciences*) *Statistics 23.0*. Skirtumas ar ryšys laikytas statistiškai reikšmingu, jei p reikšmė buvo mažesnė už pasirinktą reikšmingumo lygmenį $\alpha = 0,05$.



1 pav. Tiriamosios srities žymėjimas (ASIS – priekinis viršutinis klubakaulio dyglys) **2 pav.** Tiriamosios srities termograma prieš „šalčio iššūkį“



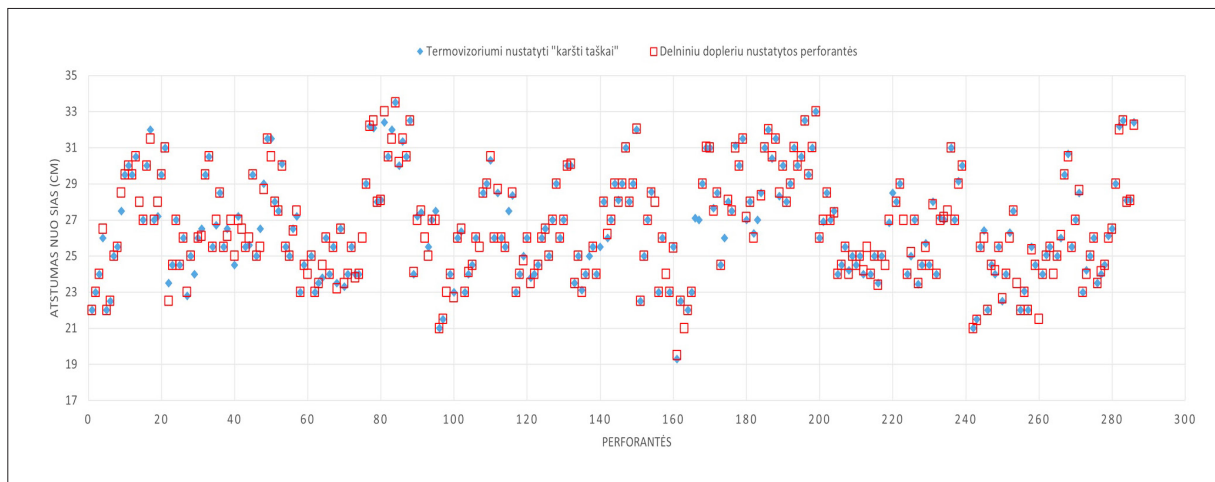
3 pav. Tiriamosios srities termograma po „šalčio iššūkio“ **4 pav.** Termograma, užfiksuota praėjus 2 min. po „šalčio iššūkio“ (pastebimas vienas „karštas taškas“ ties apatine tiriamosios zonos riba)

Rezultatai

Termovizoriumi ir delniniu ultragarsiniu dopleriu iš viso ištirta 100 priekinio ir šoninio šlaunies lopo zonų (50 tiriamųjų: 15 moterų, 35 vyrai). Į tyrimą įtraukti tiriamieji neturėjo gretutinių širdies ar kraujagyslių ligų. Tiriamųjų amžiaus vidurkis – 29 m. (SD = 15). Termovizoriumi nustatyti 266 „karšti taškai“, delniniu ultragarsiniu dopleriu išskirtos 275 perforantės. Minėtina, kad termovizoriumi nustatyti „karšti taškai“ delniniu ultragarsiniu dopleriu kaip odos perforantės patvirtinti 257 atvejais (96,6 %). Tiriomojoje zonoje dopleriu dažniausiai buvo aptinkamos 2 (29,6 %) arba 3 (43,9 %) odą maitinančios perforantės (intervalas nuo 0 iki 6). Atstumų vidurkis nuo ASIS iki perforantės, nustatytos delniniu ultragarsiniu dopleriu, ir „karšto taško“, aptikto termovizoriumi, siekė 26,6 cm (SD = 2,8). Termovizoriaus jautrumo ir specifiškumo rezultatai, nustatant odą maitinančias perforantes, pateikti 1 lentelėje. Abiejų tyrimo metodų sutariamumo Koheno kapos matas – 0,095 ($p = 0,001$) (5 pav.).

1 lentelė. Termovizoriaus jautrumas ir specifiškumas, nustatant odą maitinančias perforantes (lyginta su delniniu ultragarsiniu doplerio rezultatais)

| | Vertės |
|---------------|--------|
| Jautrumas | 93,5 % |
| Specifiškumas | 96,9 % |



5 pav. Termovizoriaus ir delninio ultragarsinio doplerio tyrimų sutariamumas, nustatant odą maitinančias perforantes

Diskusija

Delninis ultragarsinis dopleris – dažniausiai naudojamas tyrimo metodas odą maitinančioms perforantėms nustatyti, nes šis metodas yra nesudėtingas, patogus naudoti ir gali būti atliekamas pacientui gulint lovoje [9]. Vis dėlto metodas turi tam tikrų trūkumų: neapibrėžia perforantės dydžio, eigos, perfuzijos zonos, taip pat pastebėti sąlygiškai dažni klaidingai teigiami rezultatai [10–12]. Odą maitinančioms perforantėms nustatyti vadinamuoju aukšiniu standartu laikytina kompiuterinės tomografijos angiografija (KTA) [13]. Jos metu gaunama neįkainojama vaizdinė trijų dimensijų anatominė informacija apie tikslią perforantės vietą, dydį, jos eigą ir ryšį su aplinkinėmis struktūromis. KTA tyrimo vaizdai stipriai koreliuoja su intraoperaciniais radiniais ir gali statistiškai reikšmingai sutrumpinti operacijų laiką, tačiau šis tyrimas turi ir trūkumų. Jis brangus, sunkiai prieinamas, tyrimo metu naudojamas intraveninis kontrastas, tiriamoji sritis veikiama jonizuojančiosios spinduliuotės [13–15].

Odą maitinančių perforančių tyrimas termovizoriumi grindžiamas fiziologiniais odos temperatūrų skirtumais, kurie išryškėja dirbtinai atvėsinus odą ir leidžiant jos temperatūrai palengva grįžti į normines vertes. Odai šylant, termovizoriumi galima stebėti dinامينius odos temperatūros pokyčius – gerai vaskuliarizuotos odos sritys sušyla greičiau, tad intensyviau spinduliuoja infraraudonąją spinduliuotę. Šios sritys termografijoje vadinamos „karštais taškais“ (angl. *Hotspots*) [16, 17]. Termografiniai vaizdai, gaunami šiuolaikiniais išmaniųjų telefonų priedais – termovizoriais, suteikia informacijos apie odos kraujotakos ypatumus, šių vaizdų suderinamumo rodikliai, nustatant odą maitinančias perforantes, palyginti su tyrimo, atliekamo delniniu ultragarsiniu dopleriu ar KTA, rezultatais, yra aukšti. Remiantis ankstesniais klinikiniais tyrimais, galima teigti, kad 94–95 proc. termovizoriumi nustatytų „karštų taškų“ tradicinėje ALT lopo zonoje patvirtinti delninio ultragarsinio doplerio signalu, įprastu esant odos perforantėms [18, 19]. Straipsnyje pristatomo tyrimo duomenimis, termovizoriumi nustatyti „karšti taškai“ delniniu ultragarsiniu dopleriu kaip odos perforantės buvo patvirtinti 96 proc. atvejų. N. Pereira ir bendraautoriai, atlikę lyginamąjį tyrimą, priėjo prie išvados, kad išmaniojo telefono priedo – terminės vaizdo kameros – jautrumas ir specifiškumas, nustatant odą maitinančias perforantes, yra labai panašūs į vadinamuoju auksiniu standartu laikomos KTA rezultatus ir siekia atitinkamai 100 proc. ir 98 proc. [7]. Panašūs duomenys publikuoti ir kitų autorių, tyrusių termovizoriaus ir KTA suderinamumą: 95,6 proc. atvejų termogramose pastebėti „karšti taškai“, atlikus KTA, patvirtinti kaip odos perforantės [8]. Pažymėtina, kad, nustatant odą maitinančias perforantes, išmaniesiems telefonams pritaikytos terminės kameros prilygsta aukščiausios klasės termovizoriams, skirtiems naudoti profesionaliai [19].

Termografijos pradininkai šio metodo taikymą rekonstrukcinėje chirurgijoje aprašė kaip nebrangų, labai patikimą ir naudingą planuojant rekonstrukcijas perforaciniais lopais ar stebint persodintų audinių gyvybingumą [20]. Pagrindiniai termografijos privalumai, palyginti su įprastiniais tyrimo metodais: pigus, greitas ir nesudėtingas tyrimas, galimas atlikti ligoniui gulint lovoje, nereikalingi specializuoti personalo mokymai, dvimatė vaizdinė informacija apie odos kraujotakos ypatumus sąlygiškai dideliame paviršiaus plote, nereikia naudoti intraveninių kontrastinių medžiagų, galinčių sukelti alerginių reakcijų, ir, svarbiausia, nėra jonizuojančiosios spinduliuotės ekspozicijos. Termografijos metodas taip pat taikytinas po rekonstrukcinių operacijų, stebint persodintų audinių kraujotaką. Atsižvelgiant į persodintų audinių lopo temperatūros parametrus, galima netiesiogiai įvertinti audinių lopo perfuziją ir pastebėti ankstyvus jos sutrikimus [21]. Minėtini ir šiluminių kamerų trūkumai. Termovizoriumi galima nustatyti tik fiziologinius odos paviršiaus temperatūros pokyčius, tiesiogiai susijusius su perforantėmis. Tyrimas negali nusakyti perforantės dydžio, kilmės ar kelio, kuriuo ji prasiskverbia per giliają fasciją. Be to, viena perforantė, išsišakojusi į kelias šakas prieš pasiekdama odą, gali turėti keletą „karštų taškų“ [22, 23].

Išmaniesiems telefonams pritaikytos terminės vaizdo kameros diagnostinėmis galimybėmis prilygsta tradiciniams perforančių nustatymo metodams, tačiau šios kameros nėra registruotos kaip medicinos prietaisai, todėl klinikinėje praktikoje greta įprastų tyrimo metodų gali būti naudojamos tik kaip pagalbinė priemonė, galinti suteikti papildomos, išsamesnės informacijos, planuojant rekonstrukcines operacijas, kurių metu naudotini perforaciniai lopai, ar stebint persodintų audinių kraujotaką. Mokslinėje literatūroje duomenų apie neigiamą ar žalingą termografijos poveikį žmogaus organizmui iki šiol nėra pranešama.

Išvados

Termografinių vaizdų, gautų išmaniesiems telefonams pritaikytomis terminėmis kameromis, suderinamumas su doplerio ultragarso, dažniausiai taikytino perforantėms nustatyti, duomenimis yra aukštas. Be to, termografijos jautrumas ir specifiškumas nenusileidžia tradicinių metodų, taikytinų perforantėms nustatyti, analogiškiems rodikliams, taigi termografija gali būti laikoma naudingu priedu, taikant įprastus tyrimo metodus.

Literatūra

1. Hembd A, Teotia SS, Zhu H, Haddock NT. Optimizing Perforator Selection: A Multivariable Analysis of Predictors for Fat Necrosis and Abdominal Morbidity in DIEP Flap Breast Reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 2018; 142(3): 583–592.
2. Abdelfattah U, Power HA, Song S, Min K, Suh HP, Hong JP. Algorithm for Free Perforator Flap Selection in Lower Extremity Reconstruction Based on 563 Cases. *Plast Reconstr Surg* 2019; 144(5): 1202–1213.
3. Blondeel PN, Morris SF, Hallock GG, Neligan PC. *Perforator Flaps: Anatomy, Technique & Clinical Applications*. Second. CRC press, 2014.
4. Hardwicke J, Thomson R, Bamford A, Moiemmen N. A pilot evaluation study of high resolution digital thermal imaging in the assessment of burn depth. *Burns* 2013; 39(1): 76–81.
5. Mambou SJ, Maresova P, Krejcar O, Selamat A, Kuca K. Breast Cancer Detection Using Infrared Thermal Imaging and a Deep Learning Model. *Sensors (Basel)* 2018; 18(9).
6. Hardwicke JT, Osmani O, Skillman JM. Detection of Perforators Using Smartphone Thermal Imaging. *Plast Reconstr Surg* 2016; 137(1): 39–41.
7. Pereira N, Valenzuela D, Mangelsdorff G, Kufeke M, Roa R. Detection of Perforators for Free Flap Planning Using Smartphone Thermal Imaging: A Concordance Study with Computed Tomographic Angiography in 120 Perforators. *Plast Reconstr Surg* 2018; 141(3): 787–792.
8. Weum S, Lott A, de Weerd L. Detection of Perforators Using Smartphone Thermal Imaging. *Plastic and Reconstructive Surgery* 2016; 138: 938e–940e.
9. Taylor GI, Doyle M, McCarten G. The Doppler probe for planning flaps: anatomical study and clinical applications. *Br J Plast Surg* 1990; 43(1): 1–16.
10. Shaw RJ, Batstone MD, Blackburn TK, Brown JS. Preoperative Doppler assessment of perforator anatomy in the anterolateral thigh flap. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2010; 48(6): 419–422.
11. Yu P, Youssef A. Efficacy of the handheld Doppler in preoperative identification of the cutaneous perforators in the anterolateral thigh flap. *Plast Reconstr Surg* 2006; 118(4): 928–933.
12. Giunta RE, Geisweid A, Feller AM. The value of preoperative Doppler sonography for planning free perforator flaps. *Plast Reconstr Surg* 2000; 105(7): 2381–2386.
13. Hijawi JB, Blondeel PN. Advancing deep inferior epigastric artery perforator flap breast reconstruction through multidetector row computed tomography: an evolution in preoperative imaging. *J Reconstr Microsurg* 2010; 26(1): 11–20.
14. Rozen WM, Ashton MW, Grinsell D, Stella DL, Phillips TJ, Taylor GI. Establishing the case for CT angiography in the preoperative imaging of abdominal wall perforators. *Microsurgery* 2008; 28(5): 306–313.
15. Mathes DW, Neligan PC. Preoperative imaging techniques for perforator selection in abdomen-based microsurgical breast reconstruction. *Clin Plast Surg* 2010; 37(4): 581–591, XI.
16. Chubb D, Rozen WM, Whitaker IS, Ashton MW. Images in plastic surgery: digital thermographic photography (“thermal imaging”) for preoperative perforator mapping. *Ann Plast Surg* 2011; 66(4): 324–325.
17. Saint-Cyr M, Wong C, Schaverien M, Mojallal A, Rohrich RJ. The perforasome theory: vascular anatomy and clinical implications. *Plast Reconstr Surg* 2009; 124(5): 1529–1544.
18. Sheena Y, Jennison T, Hardwicke JT, Titley OG. Detection of perforators using thermal imaging. *Plast Reconstr Surg* 2013; 132(6): 1603–1610.
19. Obinah MPB, Nielsen M, Hölmich LR. High-end versus Low-end Thermal Imaging for Detection of Arterial Perforators. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2020; 8(10): e3175.
20. Theuvenet WJ, Koeyers GF, Borghouts MH. Thermographic assessment of perforating arteries. A preoperative screening method for fasciocutaneous and musculocutaneous flaps. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1986; 20(1): 25–29.
21. Hallock GG. Dynamic infrared thermography and smartphone thermal imaging as an adjunct for preoperative, intraoperative, and postoperative perforator free flap monitoring. *Plast Aesthetic Res* 2019.
22. Muntean MV, Strilciuc S, Ardelean F, Pestean C, Lacatus R, Badea AF, Georgescu A. Using dynamic infrared thermography to optimize color Doppler ultrasound mapping of cutaneous perforators. *Med Ultrason* 2015; 17(4): 503–508.
23. Tenorio X, Mahajan AL, Elias B, van Riepst JS, Wettstein R, Harder Y, Pittet B. Locating perforator vessels by dynamic infrared imaging and flow Doppler with no thermal cold challenge. *Ann Plast Surg* 2011; 67(2): 143–146.