

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Viktorija Krasnickaitė

TERMOVIZIJOS PRITAIKYMAS ŽANDIKAULIŲ SRITIES
NAVIKINIŲ PAKITIMŲ ANKSTYVAI DIAGNOSTIKAI

Magistro darbas

Vadovas

Doc. dr. D. Jegelevičius

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**TERMOVIZIJOS PRITAIKYMAS ŽANDIKAULIŲ SRITIES
NAVIKINIŲ PAKITIMŲ ANKSTYVAI DIAGNOSTIKAI**

Magistro darbas

Biomedicininė inžinerija (kodas 621H16001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Darius Jegelevičius

(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Darius Kybartas

(data)

Projektą atliko

(parašas) Viktorija Krasnickaitė

(data)

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir Elektronikos

(Fakultetas)

Viktorija Krasnickaitė

(Studento vardas, pavardė)

Biomedicininė inžinerija, 621H16001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Termovizijos pritaikymas žandikaulių srities navikinių pakitimų ankstyvai diagnostikai

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 20 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano Viktorijos Krasnickaitės baigiamasis projektas tema „Termovizijos pritaikymas žandikaulių srities navikinių pakitimų ankstyvai diagnostikai“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Krasnickaitė, V. Termovizijos pritaikymas žandikaulių srities navikinių pakitimų ankstyvai diagnostikai. Magistro baigiamasis darbas / vadovas doc. dr. Darius Jęgelevičius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektronikos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2015. 48 psl.

SANTRAUKA

Termovizija tai technika, pagrįsta infraraudonųjų spindulių aptikimu bei informacijos atvaizdavimu termogramoje, tačiau nėra naudojama kasdienėje medicinos diagnostikoje. Šiuo metu termografija naudojama krūtų navikų, odos melanomos bei daugelio kitų sričių patologijų diagnostikoje.

Visi kūnai, kurių temperatūra yra aukštesnė už absoliutų nulį, išspinduliuoja įvairaus ilgio infraraudonųjų spindulių bangas. Tai neinvazinė, bekontaktė, pasyvi, neturinti radiacijos poveikio technologija. Kūno emisijos koeficientas yra svarbiausias parametras, apibūdinantis kūno gebėjimą spinduliuoti.

Anomalios paviršiaus temperatūros išsidėstymas turi būti atpažintas kaip ligos požymis, vaizduojantis fiziologinius ir patologinius sutrikimus žmogaus kūne. Nustatyta, kad prieš vėžiniuose ir vėžiniuose audiniuose temperatūra yra aukštesnė nei normaliuose audiniuose. Sveiko žmogaus termovaizde matyti kūno simetrijos ašies atžvilgiu simetriški temperatūrų svyravimai.

Termovizijos metodą pritaikėme žandikaulių srities navikinių pakitimų ankstyvai diagnostikai. Atliktais termoviziniais tyrimais nustatėme, jog patologinėse veido (burnos ertmės) zonose temperatūra yra $0,42^{\circ}\text{C} - 1,25^{\circ}\text{C}$ didesnė nei atitinkamos simetriškos sveikų audinių srities temperatūra. Pagal nustatytus požymius, kNN kasifikatorius 21 pacientą suskirstė į sveikųjų ir sergančiųjų grupes. Klasifikatoriaus tikslumas – 90,4%.

Termovizija yra neinvazinis metodas tinkantis žandikaulių srities navikinių pakitimų ankstyvoje diagnostikoje tirti.

Krasnickaitė V. Application of thermal imaging for early diagnostic of maxillofacial pathology: Master's work in Biomedical Engineering / supervisor assoc. prof. D. Jęgelevičius; Department of Electronic engineering, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology. – Kaunas, 2015. – 48 p.

SUMMARY

Thermal imaging is a technique of detecting the object's infrared radiation and creating an image based on that information, but it is not widely used in routine medical diagnostics. In our day's thermography is broadly used for diagnostics of breast cancer, skin melanoma and other areas of pathology.

Thermal imaging captures the natural thermal radiation generated by an object at a temperature above absolute zero. It is non-invasive, non-contact, passive and radiation – free technique. The main parameter is emittance, which indicates natural heat emissions of the human body.

The location of abnormality, must be identified as a symptom of disease. These symptoms show changes of physiological and pathological region of human body. It is based on the principle that the

temperature of the area surrounding the damaged, pre-cancerous and cancerous tissue is higher than that of a normal tissue. For a normal person, the thermogram shows uniform and symmetric temperature variations.

Thermography was used for early diagnostic of maxillofacial pathology. It was found, that face surface temperature asymmetry higher than 0.4°C to 1.25°C was associated with the presence of abnormality. For sick and healthy patients classification was used kNN classifier, which divided 21 patients into two groups according determined attributes. The accuracy of classifier is 90.4%.

Non - invasive thermography method can be used for early diagnostic of maxillofacial pathology.

TURINYS

Įvadas	7
1 LITERATŪROS APŽVALGA.....	8
1.1 Infraraudonieji spinduliai	8
1.1.1 Objekto temperatūros matavimas termovizoriumi.....	10
1.2 Temperatūrų grafinis atvaizdavimas	12
1.3 Matavimo kampo bei atstumo priklausomybė.....	13
1.4 Žmogaus kūno temperatūra	14
1.5 Termovizoriaus taikymas medicinoje.....	17
1.5.1 Alergijos diagnozavimas termovizoriumi	19
1.5.2 Odos piktybinių navikų aptikimas.....	20
1.5.3 Nervų – judamojo aparato ligų diagnostika	22
1.5.4 Krūties vėžio diagnostika	24
1.5.5 Termovizijos taikymas žandikaulių ligų diagnostikoje.....	27
1.5.6 Skyriaus išvados	29
2 žandikaulių srities navikinių pakitimų diagnostikos Metodika	30
2.1 Žmogaus tyrimo procedūra.....	30
2.2 Radiometrinės duomenų bylos struktūra	32
2.3 Termovizinių vaizdų apdorojimas	32
2.3.1 Veido kontūrų išskyrimas.....	32
2.3.2 Veido simetrijos ašies aptikimas	35
2.3.3 Temperatūrinių rodiklių skaičiavimas.....	38
2.3.4 Termovaizdų segmentavimas	40
2.3.5 Klasifikatoriaus taikymas	41
3 Tyrimo rezultatai.....	44
4 Išvados	47
5 LITERATŪROS SĄRAŠAS	48
6 Priedai	51
6.1 Darbo rezultatų lentelė.....	51
6.2 Matlab kodas.....	53
6.3 Mokslinės publikacijos darbo tema	57
6.4 Sertifikatai	57

IVADAS

Nepaisant viso pasaulio mokslininkų ir medikų pastangų, onkologinės ligos yra aktuali šiandienos problema: pasaulyje kasmet diagnozuojama apie 13 mln. naujų piktybinių navikų [1]. Piktybiniai navikai yra viena iš svarbiausių sveikatos apsaugos problemų pasaulyje. Lietuvoje sergamumas piktybiniais navikais kasmet padidėja apie 2%. Sergamumas burnos ir veido bei žandikaulių piktybiniais navikais 2004 metais buvo 26,7% [2]. Paskaičiuota, kad šimtui tūkstančių gyventojų, sergančių žandikaulių piktybiniais navikais moterų buvo 4,4% ,o vyrų 22,3%. Letalumas sergančiųjų burnos ir veido bei žandikaulio piktybiniais navikais kasmet sudaro daugiau kaip 50%.

Dažniausiai pasitaikantis burnos ertmės vėžio tipas yra plokščialąstelinė karcinoma. Aptikus pakitimus, žandikaulių stebėjimui ir analizei atliekami rentgenografiniai, ultragarsiniai tyrimai, kompiuterinė tomografija. Nustatyta, jog šie tyrimai kenkia žmogaus sveikatai. Per didelę jonizuojamoji spinduliuotė gali dar labiau skatinti pakitimus organizme.

Vengiant neigiamo poveikio žmogaus sveikatai, pasiūlytas naujas bekontaktis, patikimas bei saugus metodas – termovizija. Nuo labai senų laikų kūno temperatūra naudojama diagnostikos tikslams ir tapo vienu iš pagrindinių rodiklių, įvertinančių sveikatos būklę. Vykstant medžiagų apykaitai, žmogaus kūno temperatūra svyruoja apie +37°C. Skirtingų sveikų žmonių kūno temperatūra gali nežymiai skirtis, tačiau pakitusi kūno temperatūra ar atsiradęs bet koks karščiavimas yra siejamas su liga.

Infraraudonųjų spindulių termografija yra neinvazinis metodas. Termovizijos metodu išmatuojama odos paviršiaus temperatūra. Vertinant žmogaus kūno temperatūrinę simetriją, galima aptikti anomalines šilumos formavimosi zonas. Manoma, kad termografinio tyrimo metu galima nustatyti audinių fiziologinius ir funkcinis pokyčius, dar prieš atsirandant struktūriniams pažeidimams.

Termovizija galėtų būti naudojama kaip atrankinis diagnostinis metodas, parodantis patologines zonas ankstyvoje atsiradimo stadijoje. Šiuo metu termovizija pasaulyje plačiai naudojama krūtų navikų, odos melanomos bei daugelio kitų sričių patologijų diagnostikoje. Tačiau, termovizinių vaizdų galimybės žandikaulių srities patologijų diagnostikoje yra nepakankamai ištirtos.

Svarbiausias tikslas pritaikant termoviziją žandikaulių srities patologijų diagnostikoje yra tai, kad kuo greičiau nustatyti anomalijas. Tai padėtų anksčiau pradėti gydymą ir išvengti didesnių pažeidimų. Be to metodas būtų nebrangus ir prieinamas visiems pacientams.

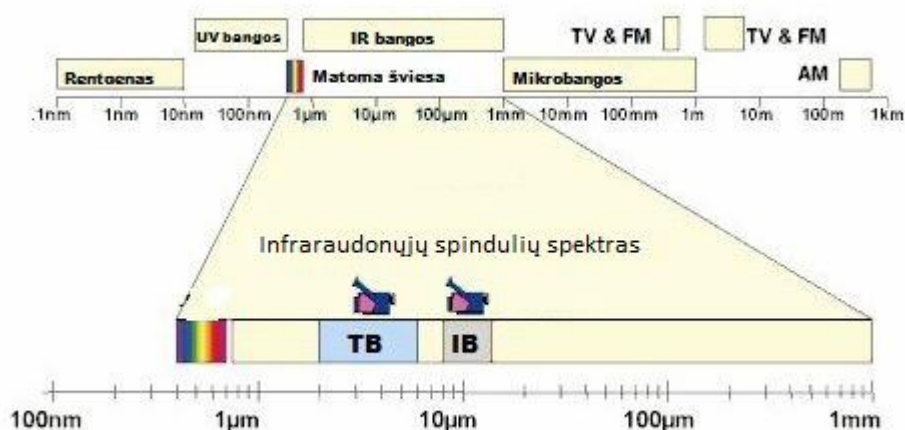
1 LITERATŪROS APŽVALGA

Literatūros apžvalgoje aptarsime termovizijos metodą. Kadangi termovizija paremta infraraudonųjų spindulių galios įvertinimu, analizę pradėsime nuo elektromagnetinės spinduliuotės, kuri būdinga visiems kūnams. Apžvelgsime kūnų spinduliavimo savybes bei infraraudonųjų spindulių fiksavimo metodą. Išsiaiškinsime kokias savybes reikia įvertinti norint tiksliai nustatyti objekto temperatūrą. Aptarsime odos paviršiaus temperatūros ir vidinių organų būklės ryšį. Išsiaiškinsime kokiose medicinos srityse yra taikoma termovizija.

1.1 Infraraudonieji spinduliai

Dėl įvairių medžiagose vykstančių tarpatominių ir tarpmolekulinių procesų kūnai gali spinduliuoti elektromagnetines bangas [3]. Energijos šaltiniai bei spinduliuotės rūšys gali būti skirtingos. Elektromagnetinių bangų spektrą sudaro gama spinduliai, rentgeno, ultravioletiniai, matoma šviesa, infraraudonieji ir mikrobangos (1 pav.). Tačiau iš visų elektromagnetinės spinduliuotės rūšių galima išskirti vieną, būdingą visiems kūnams, - tai šiluminį spinduliavimą.

Infraraudonųjų (IFR) spindulių diapazonas nėra gerai apibrėžtas. Pirmas paveikslas iliustruoja pilną elektromagnetinių bangų spektrą, kur IFR spektro dalis yra nuo 0.8 iki 200 mikrometrų. Tačiau termovizijoje naudojamas siauresnis diapazonas nuo 1 ir 15 mikrometrų. Tik šiame bangų diapazone egzistuoja termovizijai tinkami jutikliai. Tradiciškai diapazonas skirstomas į dvi grupes: trumpųjų bangų ir ilgųjų bangų diapazonus. Trumpųjų bangų diapazonas dažnai nurodomas tarp 2 – 5 μm , o ilgųjų bangų – 8 – 12 μm .



1 pav. Elektromagnetinių bangų skalė [4]

Visi kūnai, kurių temperatūra yra aukštesnė už absoliutų nulį, išspinduliuoja įvairaus ilgio infraraudonųjų spindulių bangas [4].

Šiluminis spinduliavimas yra neatskiriama kiekvieno kūno savybė. Išspinduliuojamos energijos pasiskirstymas tam tikroje spektrinėje srityje aprašomas *Planko* formule [5]:

$$\left\{ M_{bb}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} * 10^{-6} \right\}, \quad \left(\frac{W}{m^2}, \mu m \right) \quad (1.1)$$

čia: h – Planko konstanta = $6,6617 * 10^{-34}$ J/s; k – Bolcmano konstanta = $1,380 * 10^{-23}$ J/K; c – šviesos greitis = $3 * 10^8$ m/s; λ – bangos ilgis (m); T – absoliutinė juodojo kūno temperatūra (K); c_1 – pirmoji šiluminio spinduliavimo konstanta = $3,7418 * 10^{-16}$ W m²; c_2 – antroji šiluminio spinduliavimo konstanta = $1,380 * 10^{-23}$ K m

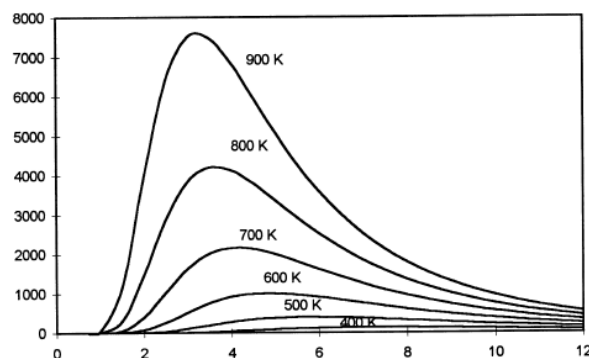
Planko formulėje energiją ir temperatūrą sieja eksponentinė priklausomybė. Planko lygtį galima atvaizduoti ir grafiškai (2 pav.). Visos skirtingos temperatūros kūnų spinduliuojamos energijos kreivės turi ryškų maksimumą, t.y. esant tam tikrai temperatūrai, didžioji dalis energijos turi vyraujantį bangos ilgį. Šilumos spinduliavimo priežastis yra chaotiškas šiluminis kūno dalelių judėjimas, todėl kūno išspinduliuota energija priklauso nuo temperatūros. Dėl šiluminio judėjimo susižadina medžiagos atomai bei molekulės ir jos, grįždamos į nesužadintą būvį, išspinduliuoja elektromagnetines bangas.

Ryšį tarp bangos, ilgio atitinkančio didžiausią energiją, ir temperatūros aprašo Vyno poslinkio dėsnis [5]:

$$\left\{ \lambda_{max} = \frac{b}{T} (\mu m) \right\} \quad (1.2)$$

Dėsnis rodo, kad žemėjant temperatūrai energijos maksimumas spektre slenka į regimojo spektro pusę .

čia: λ_{max} - bangos ilgis, atitinkantis didžiausią energiją; b – Vyno konstanta = $2898 \mu m$; T – kūno temperatūra.



2 pav. Juodojo kūno spektrinis spinduliavimas įvairiose temperatūrose pagal Planko dėsnį [5]

Realūs objektai niekada neišskiria tiek daug šilumos kaip tikras juodasis kūnas. Faktinio spinduliavimo intensyvumo ir teoriškai maksimalaus juodojo kūno spinduliavimo intensyvumo santykis yra kūno emisijos koeficientas ε [5]:

$$\left\{ \varepsilon(\lambda) = \frac{M_{fakt}(\lambda, T)}{M_{jk}(\lambda, T)} \right\} \quad (1.3)$$

Kūno emisijos koeficientas ε yra daugeliu atvejų svarbiausias parametras, apibūdinantis kūno gebėjimą spinduliuoti. Jis gali svyruoti nuo 0,00 (visiškai neskleidžiančio) iki 1,00. Kūnas, kuris visiškai sugeria krintančiąją į jį spinduliuotę, vadinamas juodoju kūnu ir jo sugerties geba lygi 1. Paprastai tokių kūnų nėra. Artimi absoliučiai juodam kūnui yra suodžiai, juodas aksomas ir kt. Kūnas su $\varepsilon=0$, negali spindėti apskritai, nesvarbu kiek karštas būtų. Būtina paminėti, kad žmogaus audinių spinduliavimo geba yra 0,98 [5]. Tai yra labai svarbu nustatant ar pasirenkant termovizoriaus parametrus.

Tiriant šiluminį spinduliavimą buvo naudojamas *Stefano ir Bolcmano dėsnis*, kuris teigia, kad juodojo kūno suminė (visų ilgių bangų) spinduliavimo galia proporcinga temperatūrai ketvirtuoju laipsniu [5]:

$$\{W = \sigma T^4\} \quad (1.4)$$

čia: σ – Stefano ir Bolcmano konstanta, kuri lygi $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

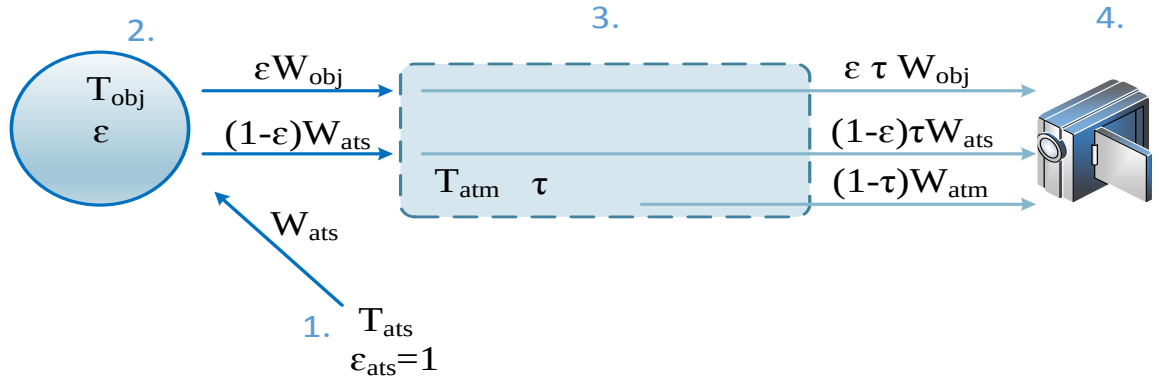
1.1.1 Objekto temperatūros matavimas termovizoriumi

Įrenginiai, gebantys vizualizuoti infraraudonosios spinduliuotės intensyvumo pasiskirstymą paviršiuje, vadinami infraraudonųjų spindulių kameromis arba termovizoriais. Kūno temperatūros matavimas, naudojantis termovizoriumi, paremtas kūno spinduliuojamų bangų galios matavimu. Tačiau matuojamos spinduliuotės galios W dydis priklauso ne tik nuo analizuojamo kūno temperatūros, bet ir nuo kitų aplinkoje esančių kūnų spinduliuojamos galios. Be to, spindulių galios matavimus įtakoja atmosferiniai reiškiniai. Taigi, tiksliam temperatūros matavimui būtina kompensuoti šalutinių poveikių įtaką, kas pagal užduotą algoritmą automatiškai atliekama termokameroje. Pagrindiniai parametrai, kurie būtini matuojant kūno temperatūrą termovizoriumi [5]:

1. Aplinkos objektų temperatūra;
2. Tiriamo objekto emisijos koeficientas;
3. Atstumas tarp termovizoriaus ir analizuojamo objekto;
4. Santykinė aplinkos drėgmė;

5. Atmosferos temperatūra.

Kaip jau minėta, termovizorius matuodamas kūno temperatūrą, fiksuoja elektromagnetinę spinduliuotę ne tik iš analizuojamo objekto, bet ir iš jį supančių kūnų, kurių spinduliuotė yra atspindima nuo tiriamo objekto. Aptartą procesą galime atvaizduoti 3 paveikslu.



3 pav. Kūno temperatūros nustatymas termovizoriumi

Kaip matyti 3 paveiksle, fiksuojamos spinduliuotės lygis priklauso nuo aplinkinių kūnų spinduliuotės, kuri atspindima nuo analizuojamo objekto (1), paties kūno temperatūros (2), atmosferos veikiamo slopinimo ir atmosferos spinduliuotės (3) bei nuo termovizoriaus (4) sukalibravimo tikslumo.

Temperatūrai apskaičiuoti panaudojama sukalibruotos kameros išėjimo įtampos reikšmė. Pirmiausia priimame kad analizuojamas juodas kūnas, turintis temperatūrą $T_{saltinio}$. Tuomet termovizorius fiksuoja spinduliuotės galią W ir generuoja išėjimo įtampą $U_{saltinio}$. Išėjimo įtampa apskaičiuojama pagal formulę [5]:

$$\{U_{saltinio} = C \cdot W(T_{saltinio})\} \quad (1.5)$$

Arba supaprastinus šią išraišką gauname:

$$\{U_{saltinio} = C \cdot W_{saltinio}\} \quad (1.6)$$

kur: C – termovizoriaus konstanta.

Iš esmės termovizoriaus fiksuojamą spindulių galią įtakoja trys pagrindiniai veiksniai:

- Analizuojamo kūno spinduliavimo galia;
- Aplinkos objektų spinduliuotės galia, atspindėta nuo analizuojamo objekto;
- Atmosferos spinduliavimo galia.

Matavimus įtakojantys šalutiniai kūnai turi tam tikrą temperatūrą T_{ats} . Priimama, kad visi aplinkiniai kūnai turi vienodą temperatūrą. Suprantama, kad tai tik teorinis atvejis, kadangi realiomis

sąlygomis, atskiri kūnai gali turėti skirtingas temperatūras. Remiantis Kirchofo dėsniu, skaičiavimuose priimama, kad aplinkos emisijos koeficientas lygus 1 ($\varepsilon_{ats}=1$) [5].

Be to, kiekvieno iš šių veiksnių dydį įtakoja atmosferos sukeltas slopinimas. Atsižvelgus į visus šiuos faktorius galime išreikšti bendrą termovizoriaus fiksuojamą spinduliuotės galią [5]:

$$\{W_{bend} = \varepsilon \cdot \tau \cdot W_{obj} + (1 - \varepsilon) \cdot \tau \cdot W_{ats} + (1 - \tau) \cdot W_{atm}\} \quad (1.7)$$

čia: ε - kūno emisijos koeficientas, τ - atmosferos įnešamo slopinimo koeficientas, W_{obj} - objekto spinduliuojama galia, $(1-\varepsilon)$ - atspindžio nuo analizuojamo objekto koeficientas, $(1-\tau)$ - atmosferos emisijos koeficientas, W_{ats} - atspindžio galia, W_{atm} - atmosferos spinduliuojamų infraraudonųjų bangų galia.

Panaudojant 1.5 formulę, išreiškiama bendra termovizoriaus generuojama išėjimo įtampa. Tam tikslui abi lygybės puses padauginame iš konstantos C , o sandaugą CW , pakeičiame į įtampą U .

$$\{U_{bend} = \varepsilon \cdot \tau \cdot U_{obj} + (1 - \varepsilon) \cdot \tau \cdot U_{ats} + (1 - \tau) \cdot U_{atm}\} \quad (1.8)$$

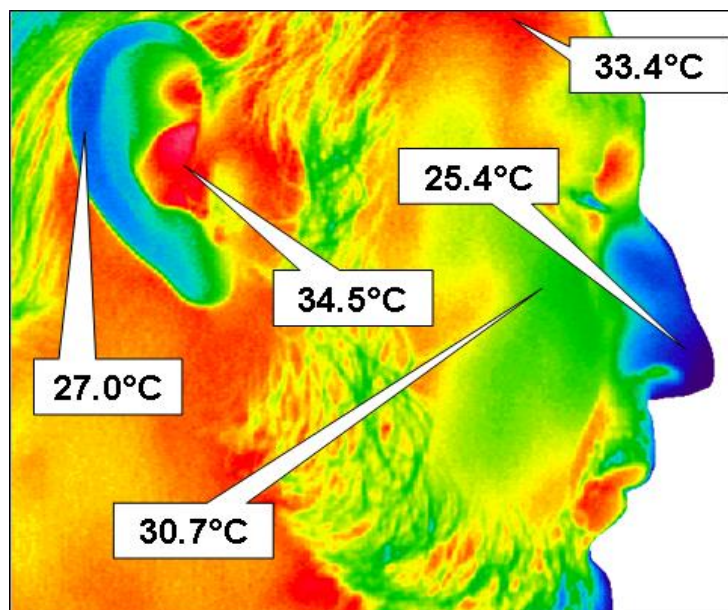
Apskaičiuojama objekto spinduliuojamai galiai proporcinga termovizoriaus išėjimo įtampa U_{obj} :

$$\left\{U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon \cdot \tau} \cdot U_{bend} - \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon} \cdot U_{ats} - \frac{(1 - \tau)}{\varepsilon \cdot \tau} \cdot U_{atm}\right\} \quad (1.9)$$

Apskaičiuotos U_{obj} dydis panaudojamas temperatūros reikšmėms įvertinti. Tokiu principu paremtas daugelio FLIR termografinių sistemų veikimas [5].

1.2 Temperatūrų grafinis atvaizdavimas

Klinikinėje medicinoje termovizija padeda tyrinėtojiui neinvaziniu būdu atvaizduoti ir kiekybiškai įvertinti temperatūros kaitą. Regimas atvaizdas, gautas termovizoriumi vadinamas termograma (4 pav.). Termogramoje spalva atitinka infraraudonojo spinduliavimo intensyvumo dydį.



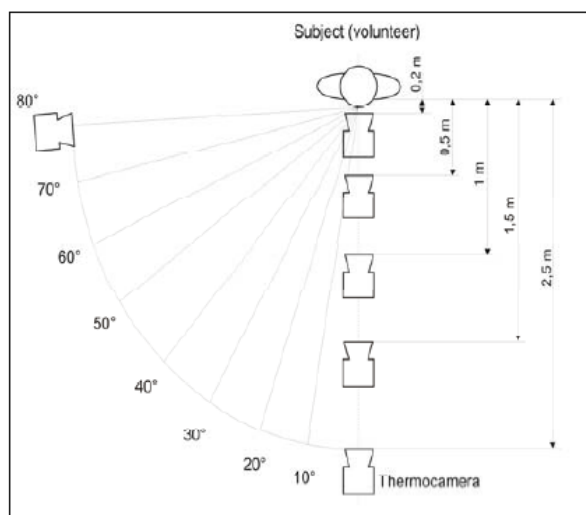
4 pav. Termograma

Termogramose naudojamos įvairios spalvų paletės, kuriose šviesesnės spalvos atitinka intensyvesnį infraraudonąjį spinduliavimą. Jei termovizoriuje įdiegtos radiometrinės savybės tai, įvertinę matuojamo paviršiaus emisijos koeficientą, galime tiksliai išmatuoti bet kurio taško temperatūrą bei gauti temperatūrų pasiskirstymą visame paviršiuje. Sudarius termografinius objekto žemėlapius aiškiai galima matyti, kurioje kūno vietoje skiriasi spinduliavimo intensyvumas. Spalvos gali kisti nuo raudonos, oranžinės iki baltos padidėjusios temperatūros sritims ir nuo tamsiai mėlynos iki juodos rodančioms žemą temperatūrą.

Kiekvieno sveiko žmogaus odos paviršiaus vaizdams būdingas dėšningumas ir atkartojamumas. Odos paviršiaus detales registruojant $0,01^{\circ}\text{C}$ diskretiškumu, netgi nedideli svyravimai gali būti nesunkiai pastebėti. Odos paviršiaus temperatūra rodo po ja esančių audinių metabolizmo pokyčius.

1.3 Matavimo kampo bei atstumo priklausomybė

Matuojant žmogaus kūno temperatūrą svarbu įvertinti ne tik aplinkos ar atmosferos poveikį, bet ir atstumą tarp žmogaus kūno ir kameros bei kameros ašies ir paviršiaus normalės tarpusavio kampą (5 pav.).



5pav. Termo kameros padėtis [6]

M. Tkáčová ir kt.[6] atliko tyrimus su 20 pacientų (10 vyrų ir 10 moterų) tam, kad įvertinti kaip atstumas ir matavimo kampas įtakoja odos temperatūros matavimo rezultatus. Turėdami 5 termokameras kiekvieną pacientą fotografavo 5 skirtingais atstumais (0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 m) bei 8 skirtingais kampais.

Gauti rezultatai parodė, jog esant skirtingam atstumui ir kampui, temperatūros parametrai skyrėsi (1.1 lentelė [6]). Todėl norint tiksliai išmatuoti temperatūrą labai svarbu, pasirinkti žinomo dydžio atstumą (pvz. 1 m) bei artimą 0 laipsnių kampą tarp kameros ašies ir odos paviršiaus normalės.

1.1 lentelė. Atstumo (nuo kameros iki objekto) priklausomybė temperatūrai

Atstumas [m]	$T_{\max}$ [°C]	T_{vid} [°C]	$T_{\min}$ [°C]
0,2	38,3	37,3	36,8
2,5	36,6	36,4	35,1

1.2 lentelė. Kampo priklausomybė temperatūrai

Kampas [m]	$T_{\max}$ [°C]	T_{vid} [°C]	$T_{\min}$ [°C]
0	36,6	36,5	36,3
80	32	31,8	31,5

1.4 Žmogaus kūno temperatūra

Žmogaus kūno šiluma yra generuojama metabolinių procesų ir raumenų aktyvumo. Ji perduodama į aplinką laidumo, konvekcijos, IR spinduliuotės ir garavimo būdu. Todėl žmogus, kaip ir bet kuris kitas kūnas spinduliuoja IR spindulius.

Vidaus organų temperatūra palaikoma dėl konvekcijos (kraujotaka) ir šiluminio laidumo procesų ir paprastai yra aukštesnė nei kūno paviršiaus temperatūra. Pagrindinis odos temperatūrą lemiantis veiksnys yra kraujotakos intensyvumas.

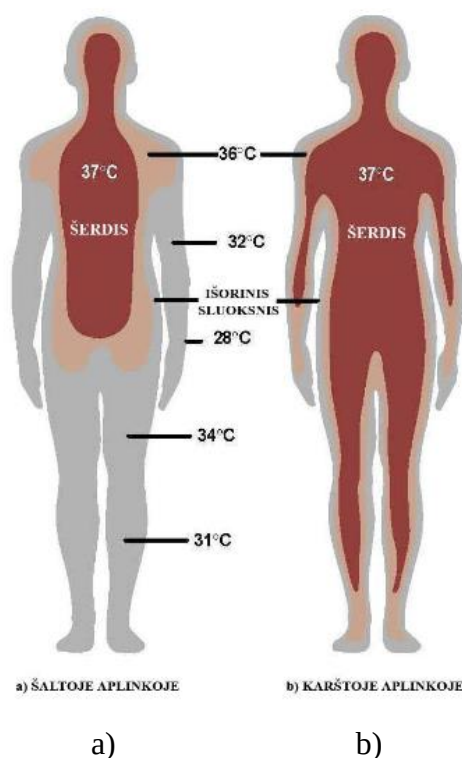
Temperatūra priklauso nuo dviejų reguliavimo mechanizmų: šilumos gamybos ir šilumos atidavimo. Pusiausvyra tarp šilumos susidarymo ir atidavimo vadinama termoreguliacija. Joje dalyvauja įvairios centrinės sistemos dalys ir vidinės sekrecijos liaukos.

Kūno paviršius iki 2,5 cm gylyje sudaro taip vadinamą vidinį kūno sluoksnį (šerdį), kurio audinių temperatūra gali svyruoti. Organizmo vidinę temperatūrą reguliuoja vidaus organai, kurie kartu su kitais audiniais organizme ir sudaro šerdį. Be to jos beveik neveikia pasikeitimai aplinkos sąlygose. Išorinio organizmo sluoksnio storis priklauso nuo aplinkos ir nuo gebėjimo išlaikyti kūno šilumą. Temperatūra nėra vienoda, ji keičiasi skirtinguose išorinio sluoksnio taškuose. Žmogaus kūno šilumos reguliavimas yra sudėtingas procesas, susidedantis iš įvairių mechanizmų. Tai ir cheminių procesų, medžiagų apykaitos intensyvumo reguliavimas, ir fizinių procesų – nulemiančių šilumos atidavimo į aplinką intensyvumą. Šilumą žmogaus organuose kuria egzoterminės cheminės reakcijos, kurios nuolat vyksta kepenyse, raumenyse ir kituose organuose medžiagų apykaitos procesų metu. Šiluma yra gaminama visame kūne, tačiau prarandama tik per audinius, kurie kontaktuoja su aplinka. Žmogaus raumens ir oda šilumos netenka greičiau nei vidaus organai esantys kūno viduje (šerdyje).

Normali, vidinė žmogaus kūno temperatūra yra $\sim 37^{\circ}\text{C}$. Dienos metu temperatūra gali padidėti, maždaug $0,8^{\circ}\text{C}$. Fiziniai pratimai taip pat gali sukelti kūno temperatūros padidėjimą.

Esant šaltoje aplinkoje žmogaus kūnas greičiau praranda šilumą, nei ją pagamina, todėl sumažėja kūno temperatūra. Tai vadinama hipotermija. Šalčio poveikyje kraujotaka sulėtėja ar net visiškai nutrūksta viršutiniuose odos sluoksniuose (6 pav. a). Rankų ir kojų temperatūra tampa artima aplinkos temperatūrai. Tuomet, kada susitraukia paviršinės kraujagyslės, daugiau kraujo tenka vidaus organams, suintensyvėja jų veikla.

Širdies darbas itin suintensyvėja aukštoje temperatūroje. Išsiplečia odos kraujagyslės, suintensyvėja prakaito, riebalų liaukų veikla, kraujas kaupiasi odoje, vanduo intensyviai atiduodamas aplinkai. Vidaus organų kraujotaka sulėtėja, organai mažiau aprūpinami maisto medžiagomis ir deguonimi. Kraujas iš vidaus organų suteka į paviršiaus kūno audinius. Tai aiškiai galime matyti 6 b paveiksle.



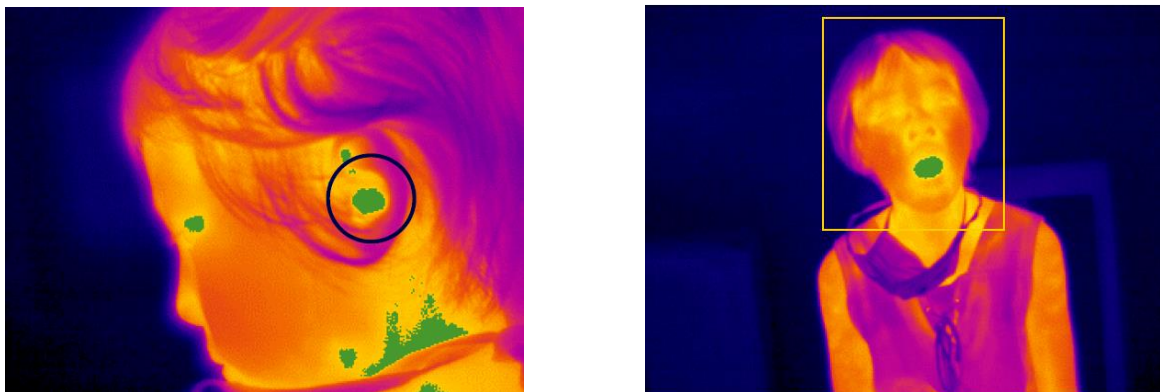
6 pav. Temperatūros pasiskirstymas organizme esant a) šaltoje ir b) karštoje aplinkoje [7]

Šildant odą, šilumos receptoriai trumpai suaktyvėja, tuo tarpu šalčio receptoriai atsako laikinu slopinimu: šaldant kūno odą šilumos receptoriai pasyviai reaguoja į dirgiklius. Trumpalaikiai organizmo fiziologiniai atsakai kaitinimo ar šaldymo pradžioje suteikia tiesioginę informaciją apie odos temperatūros pokyčius.

Kūno viduje šiluma yra pernešama dviem būdais: laidumo per audinius būdu ir konvekcijos per kraują būdu, t.y. procesas, kuomet tekantis kraujas perneša šilumą iš šiltesnių audinių į vėsesnius. Šiluma teka iš šiltesnių sričių į vėsesnes, didžiausios šilumos srovės kūno viduje sklinda iš pagrindinių šilumos gaminimo vietų į likusias kūno dalis ir iš kūno vidinio sluoksnio į odą.

Pastebėta, kad bendras temperatūrinis žmogaus kūno reljefas nėra vienodas. Aukščiausia temperatūra fiksuojama galvos ir kaklo srityje, žemesnė – besileidžiant stuburo, pilvo srityje ir dar žemėja slenkant galūnėmis iki rankų ir kojų pirštukų.

Burnos ertmės ir ausies landos paviršiai – tai du patikimiausi taškai, kuriais pakankamai dideliu patikimumu galima įvertinti žmogaus kūno temperatūrą (7 pav.) [7]. Temperatūros pokyčiai greičiausiai nustatomi ant ausies būgnelio. Matuojant temperatūrą burnoje – gaunamas palyginus nedidelis skirtumas nuo vidinės temperatūros.



7 pav. Ausies landos ir burnos ertmė paviršiai [7]

Prasidėjus uždegimui audiniuose arba augant piktybiniam navikui aktyvėja kapiliarų kraujotaka, sukelianti temperatūros didėjimą. Kuo aukštesnė vidinė temperatūra, tuo spartesnė tampa kraujo tėkmė į odos paviršių. Todėl šilumos perteklių oda į aplinką išskiria infraraudonųjų spindulių pavidalu. Šiuos spindulius galima užregistruoti infraraudonųjų spindulių kameromis, taikant termovizijos metodą.

Paviršinės kraujotakos intensyvumas yra proporcingas vidaus organų būklės pokyčiams, dėka vykstančių patologinių procesų, lydimų šilumos išskyrimo pokyčių, refleksiskai keičiančių paviršiaus kraujotaką. Biocheminių reakcijų intensyvumas taip pat įtakoja medžiagų apykaitą įvairiuose organuose. Joms suintensyvėjus atsiranda temperatūros didėjimas. Paviršinių sluoksnių šilumos pusiausvyrą lemia audinių šiluminis laidumas. Audinių šiluminis laidumas priklauso nuo audinio sandaros, storio, struktūros, hidrofiliškumo, kas fiziškai apibūdinama kaip audinių emisija.

Skirtingų sveikų žmonių temperatūros skiriasi. Kraujo, audinių ir odos temperatūros pokyčius organizme nulemia šiluminės energijos skirtumai, kuriuos sukuria kraujo cirkuliacija, lemia šiluminio laidumo bei organizme vykstančios cheminės reakcijos. Vidutinis suaugusiojo žmogaus odos paviršiaus plotas yra apie 2 m^2 , kuriame yra daugiau negu 166 000 šilumai ar šalčiui jautrių taškų, nervais sujungtų su smegenimis. Jų dėka organizmas gali reguliuoti kraujotakos intensyvumą pagal aplinkos sąlygas.

1.5 Termovizoriaus taikymas medicinoje

Termovizija yra plačiai taikoma energetikoje, pastatų apšiltinimo tikrinimui, aviacijoje, karyboje, taip pat ir medicinoje bei veterinarijoje.

Ilgą laiką termoviziją buvo galima naudoti vien karinės pramonės tikslams ir tik po antrojo pasaulinio karo, nuėmus šiuos apribojimus, termovizija, kuri gali nustatyti odos paviršiaus temperatūrų skirtumus, pradėta taikyti medicinoje.

Patys pirmieji kūno temperatūros tyrinėjimai literatūroje aprašyti, kai tyrėjas su savo pacientais atlikdavo bandymus, uždėdavo purvo ant ligonio pilvo ir stebėdavo, kaip jis džiūsta, kaip

keičiasi jo spalva, analizuodamas temperatūros įtaką. Pirmuosius termografinius tyrimus atliko Vokietijos gydytojas Švamas 1952 metais, kuris naudojo infraraudonųjų spindulių bolometrą [8]. Tai buvo pirmasis infraraudonųjų spindulių bolometras. Su šiuo aparatu jis atliko įvairių sričių kūno temperatūros matavimus. 1956 metais yra minimas termografijos metodas, kai gydytojas Lausonas aptiko pacientę sergančią krūties vėžiu, kuriai krūties srityje buvo padidėjusi temperatūra lyginant su aplinkiniais audiniais. Tai buvo pirmoji publikacija apie termografijos galimą pritaikymą krūtų vėžiniams susirgimams diagnozuoti [9]. Remiantis tuo, kad sparčiai augančiam piktybiniam navikui būdingas spartus metabolizmas ir intensyvesnė kraujo apytaka, buvo nustatytas temperatūros didėjimas. Tai buvo įrodymas, kad termografijos metodą galima taikyti medicininėje praktikoje, aptinkant onkologines ligas.

1972 metais termografija, kaip neinvazinis ir labai greitas diagnostikos metodas, buvo įregistruotas Strasburo Europos termografijos bendrijoje. Nuo to laiko labai išsiplėtė galimos termografijos pritaikomumo sritys, ypač pastarąjį dešimtmetį, kai buvo sukurtos spalvoto vaizdo skaitmeninės kameros ir Tarptautinio standartų instituto (ISO) priimtos žmogaus temperatūros tikrinimo techninės rekomendacijos [10].

Termovizijos taikymas medicinoje yra labai svarbus. Tai neskausmingas metodas, kuris tinka tiek suaugusiems, tiek vaikams, tiek nėščioms moterims, nedarantis jokios fizinio ar cheminio poveikio tiriamam objektui. Modernios kompiuterizuotos IFR spinduliuotės registravimo sistemos kuriamos specialiai medicinos poreikiams ir taikomos siekiant:

- Įvertinti paciento fiziologinę būklę;
- Nustatyti audiniuose anksčiau neaptiktą nenormalios temperatūros sritį, ir nutarti dėl tolesnių diagnostinių tyrimų poreikio;
- Atlikti pirminę ankstyvąją pažeidimų diagnostiką;
- Įvertinti rizikos susirgti tikimybę prieš išryškėjant klinikiniams ligos požymiams;
- Stebėti ligos procesą, gydymo efektyvumą ir gijimo procesą.

Kiekvieno sveiko žmogaus organizmo sričių termogramos turi būdingą etaloninį vaizdą ir registruojant žmogaus organizmo paviršiaus infraraudonųjų bangų spinduliavimą galima įvairiose kūno vietose aptikti šilumos gamybos ir perdavimo sutrikimus ir tokiu būdu diagnozuoti kraujotakos, inervacijos pažeidimus, nustatyti prasidėjusių uždegimų, onkologinių, kai kurių ligų pradinius simptomus.

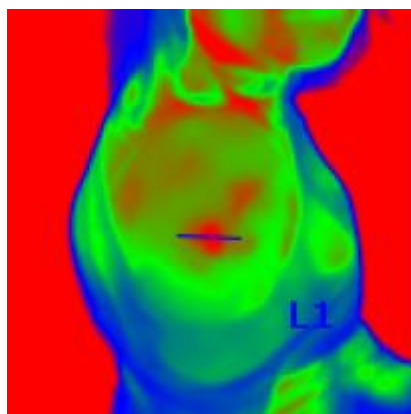
Kompiuterinė tomografija, magnetinio rezonanso tyrimai yra skirti anatominei struktūrai atvaizduoti, o elektromiografija - judėjimo fiziologijai tirti. Termovizija juos papildo, padeda aptikti organizmo fiziologinius pokyčius.

1.5.1 Alergijos diagnozavimas termovizoriumi

Termovizijos galimybės leidžia šį metodą pritaikyti alerginių reakcijų tyrimui. M. Szwedo ir tyrinėtojų grupė [11], kaip papildomą metodą tradiciniam alerginiam odos stebėjimui pritaikė termoviziją. Tradiciniu metodu, diagnozuojant alergijas, ant paciento peties klijuojamos juostelės su skirtingomis, reakcijas sukeliančiomis medžiagomis. Tokiu būdu galima nustatyti kaip žmogaus oda reaguoja į skirtingo poveikio alergenų. Tačiau šis metodas reikalauja didelių laiko sąnaudų, kadangi reakcijai aptikti reikia 2-4 dienų. Diagnozavimo procesui pagreitinėti ir buvo pritaikytas termovizijos metodas, nes odos paviršiaus alerginė reakcija yra susijusi su padidėjusia odos paviršiaus temperatūra.



8 pav. Alergeno reakcija sukelta ant odos [11]



9 pav. Termovizinis vaizdas [11]

Tą patį laiko intervalą stebėti tradiciniu būdu tirta alergeno sukeltos odos reakcijos vaizdas parodytas 8 paveiksle, termovizinis vaizdas – 9 paveiksle. Aiškiai matyti, kad termovizoriaus vaizde ryškiau išskiriama alerginė reakcija. To pasekoje stebėsenos laikas gali būti trumpinamas. Čia ir išryškėja termovizijos privalumas, leidžiantis apsaugoti paciento odą nuo pažeidimų, kurie gali atsirasti nuo per ilgo alergenų poveikio.

Tam, kad rezultatai būtų tikslūs ir neiškraipyti išorinės aplinkos, būtina griežtai laikytis tam tikrų išorinės aplinkos sąlygų: kambario temperatūra 20 – 24°C, drėgmė 45 – 55 %, išorinio šilumos srauto nebuvimas. Reikalavimai pacientui: vengti fizinės veiklos, saulės, drėgmės, cheminių medžiagų poveikio [11]. Kitaip tariant, jokie kiti išoriniai dirgikliai negali sukelti alerginio poveikio tiriamajam.

Tyrimas parodė, kad norint ištirti kelis alergenų vienu metu, juostelėje tarp alerginių zonų turi būti tarpas. Tuomet alerginės zonos bus atskirtos ir bus galima teisingai diagnozuoti dirgiklį.

Nepaisius atstumų atskirų dirgiklių poveikis gali išsiplėsti ir pasiekti kitas zonas, o tada nebus galima nustatyti tikslaus alergeno poveikio.

1.5.2 Odos piktybinių navikų aptikimas

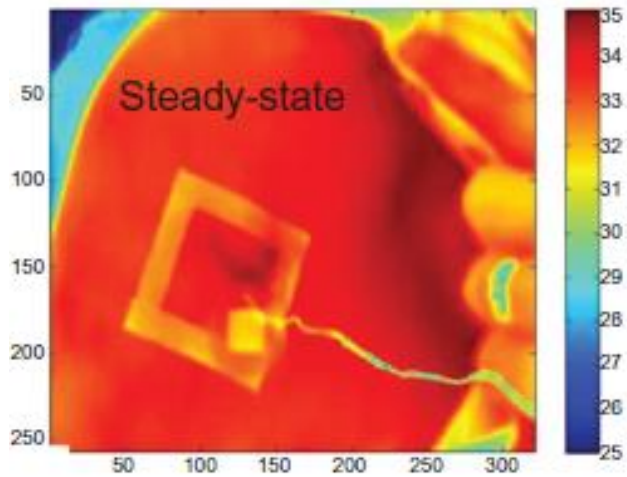
Melanoma – agresyviausia odos vėžio forma. Jei melanoma aptinkama ankstyvojoje stadijoje, prieš naviko patekimą į epidermį, galima išgelbėti net 99 % sergančiųjų. Tačiau jei odos vėžys jau progresavusioje stadijoje, išgyvenamumas lieka tik 15% [12].

Medicininiais tyrimais ištirta, kad ankstyvojoje odos vėžio stadijoje, melanoma vystosi paviršiniuose paciento audiniuose. Todėl šios stadijos vėžį galima diagnozuoti, kai dar navikas nepasiekia gilesnių odos struktūrų. Tačiau tam reikalingas efektyvus diagnostavimo metodas, kadangi plika akimi pastebėtas odos pažeidimas gali būti klaidingai interpretuojamas. Priešingu atveju, pacientui reikalingas gydymas gali būti paskirtas per vėlai.

Kaip taisyklė, melanomos piktybinio naviko vieta, lyginant su sveikais audiniais, pasižymi aktyvesne medžiagų apykaita, suintensyvėjusia kraujotaka, šiltesnėmis vėžio sukeltomis žaizdomis. Taigi, kaip ir anksčiau aptartuose termovizijos taikymuose, šis neinvazinis ligos diagnostavimo būdas, puikiai tinka odos vėžio naviko aptikimui.

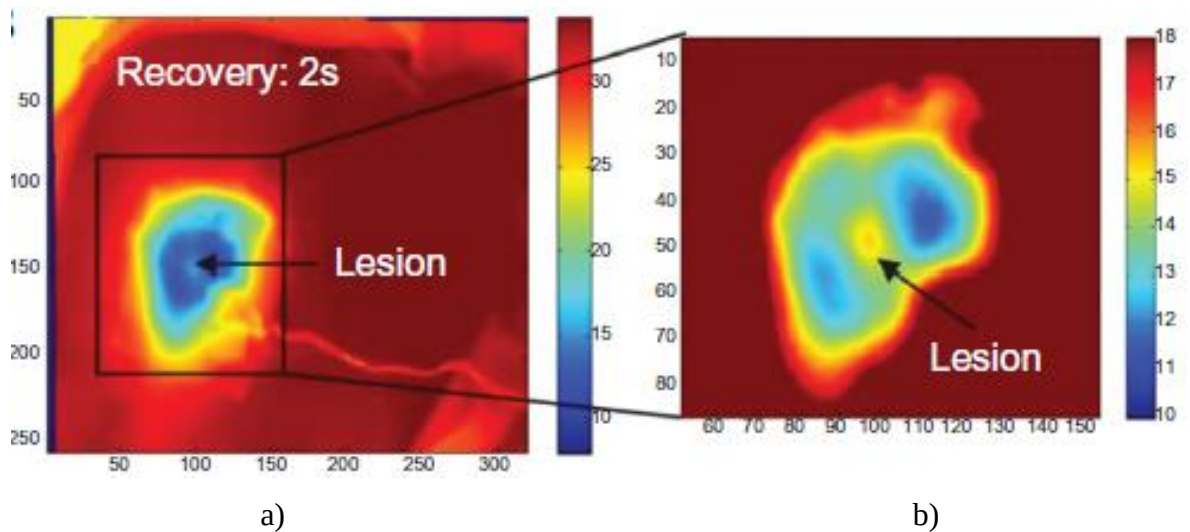
Ankstyvajam melanomos diagnostavimui reikalingi išoriniai dirgikliai tiriamojame ligos zonoje. Tuomet laikoma, kad termovizijos metodas yra aktyvinis arba dinaminis. Dinaminio metodo metu stebima šiluminė paciento organizmo reakcija į dirgiklį. Šiuo konkrečiu atveju [12] taikomas naviko šaldymas koncentruotu šalto oro srautu. Ištirta, kad toks metodas yra kur kas tikslesnis ir efektyvesnis būdas nustatyti patologinius pažeidimus nei pasyvūs metodai, kada fiksuojama kūno temperatūra normaliomis sąlygomis (10 pav.) [12]. Šalto oro srauto temperatūra ir veikimo laikas parenkamas taip, kad nesukeltų ryškaus diskomforto pacientui. Reikia paminėti ir tai, kad tyrimas atliekamas trimis etapais: pirmame etape paciento temperatūra suvienodinama su aplinkos temperatūra, antrame etape naudojamas dirgiklis (šalto oro srovė), o trečiame etape stebimas organizmo temperatūros atsistatymo procesas.

Minėto trečio etapo procesai yra fiksuojami termovizoriumi, o po to analizuojami gauti šiluminiai vaizdai. Tiriamos melanomos zonos yra lyginamos su sveikais audiniais. Nustatyta, kad vėžinės žaizdos generuoja kur kas daugiau šilumos ir atstato prarastą temperatūrą daug greičiau, nei sveiki audiniai (11 pav.) [12].



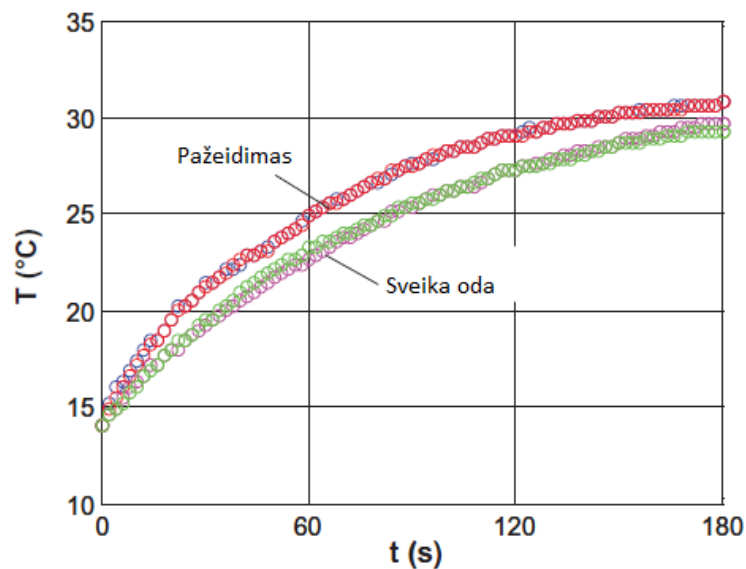
10 pav. Termovizoriaus užfiksuotas vaizdas kambario temperatūros sąlygomis [12]

11a paveiksle matomas vaizdas užfiksuotas jau po dirbtinio dirgiklio t.y. po koncentruoto šalto oro srauto poveikio. 11 b paveiksle aiškiai matyti, kad vėžinio naviko vietoje, temperatūra atstatoma kur kas greičiau, nei sveikuose audiniuose. Gautus atlikto tyrimo rezultatus galima atvaizduoti grafine temperatūros kaitos priklausomybe nuo laiko (12 pav.). Taip atvaizdavus naviko pažeistos zonos ir sveikos odos reakcijas į dirgiklius, aiškiai matomi temperatūrų nesutapimai.



11 pav. Fiksuojama vėžio pažeista odos vieta a) vaizdas po dirbtinio dirgiklio, b) vaizdas, praėjus tam tikram laikui, skirtam tyrimui [12]

Taigi pritaikant termovizijos metodą ankstyvajai melanomos diagnostikai, reikia naudoti aktyvinį metodą, kadangi be išorinės, koncentruotos šalto oro srovės, menki šiluminiai pokyčiai gali būti nepastebėti (10 pav.).



12 pav. Temperatūros kaitos priklausomybė nuo laiko [12]

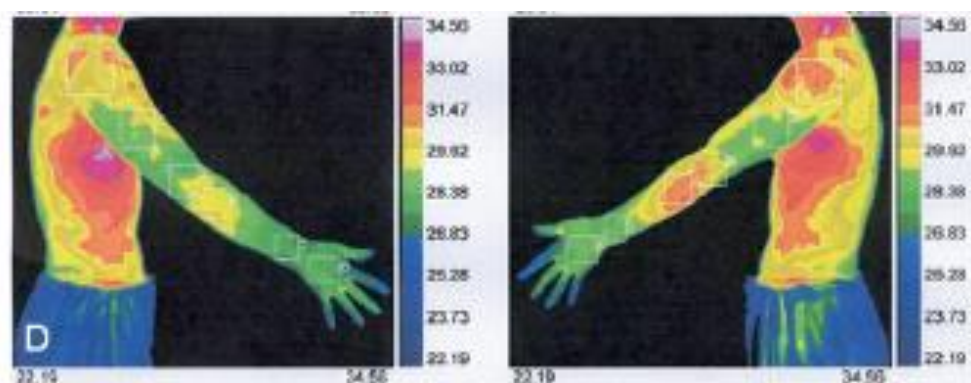
Taigi šis metodas puikiai tinka ankstyvajam odos vėžio naviko aptikimui.

1.5.3 Nervų – judamojo aparato ligų diagnostika

Jei raumens audinys įtemptas, įplyšęs ar kitaip pažeistas, dažniausiai šioje srityje stebimas uždegimas, termografiškai atsispindintis kaip vietinė hipertermija. Hipertermija – tai kūno temperatūros padidėjimas virš audiniui būdingos sveikos būklės temperatūros.

Termografija leidžia aptikti pažeistą stuburo sritį, stebėti patologinio proceso dinamiką bei vertinti taikomo gydymo efektyvumą.

Pritaikius termoviziją ir apskaičiavus temperatūrinius skirtumus galime nustatyti pečio sąnario uždegimą [13]. 13 paveiksle galima pastebėti temperatūrinius skirtumus peties - dilbio srityje.

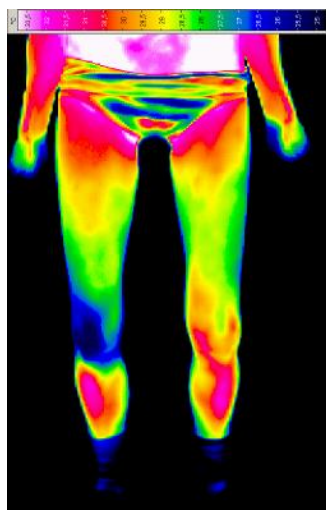


13 pav. Peties – dilbio srities temperatūriniai pakitimai [13]

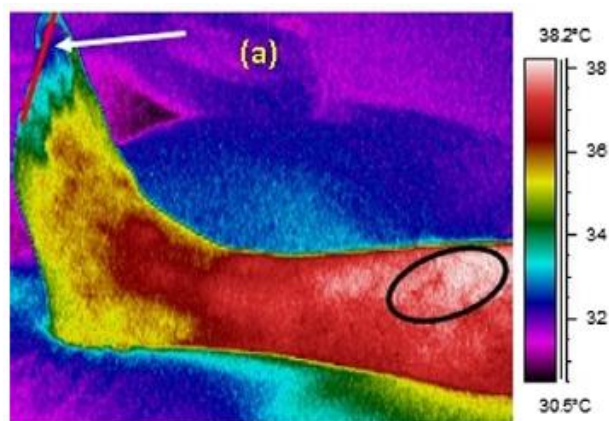
Dar viena problema šiuolaikinėje visuomenėje tai sąnario uždegimas, kitaip dar vadinamas artritu. Sąnario patinimu ar skausmais skundžiasi labai dažnas žmogus, sulaukęs 60 metų.

Sąnaryje uždegimas atsiranda kaip traumos ar išnirimo pasekmė. Pažeistoje srityje gaminasi didesnis kiekis sąnario skysčio. Sąnarys parausta, toje vietoje padidėja temperatūra (14 pav.).

Termovizijos metodu taip pat galime išvelgti ir kraujagyslių sutrikimus. 15 paveiksle yra matoma žmogaus koja, kuriam yra diagnozuotos išsiplėtusios venos. Pažymėtame apskritime temperatūra yra aukštesnė $0,7^{\circ}\text{C}$, atsižvelgiant į aplinkinius regionus.



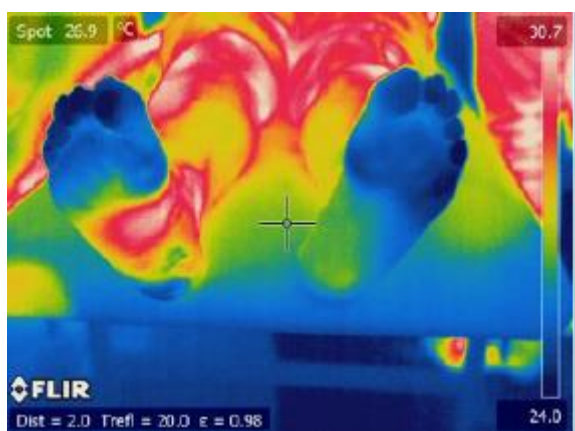
14 pav. Kelio sąnario uždegimas [14]



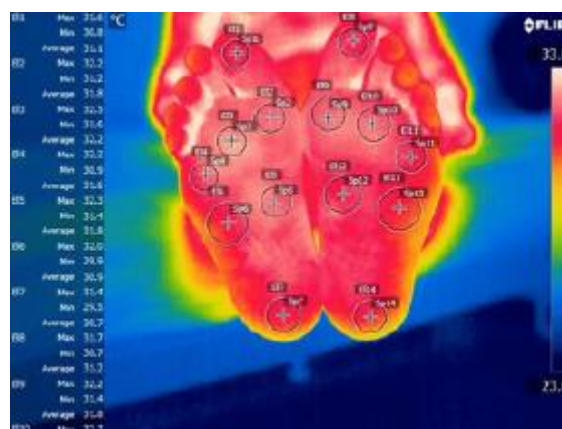
15 pav. Kojoje esantis kraujagyslės sutrikimas [15]

Termovizija yra reikšminga vertinant apatinių galūnių kraujotaką, nustatant ankstyvuosius angiopatijos, o dažniausiai ir neuropatijos požymius „diabetinės pėdos“ atvejais. Pacientų su diabetu pėdų sritys (ypač kojų pirštai) termografiškai būna ženkliai žemesnės temperatūros, nei aplinkiniai audiniai (16 pav.).

Būdinga tai, kad dažnai stebima ryški terminė anizotropija, t.y. temperatūrinė asimetrija, rodanti, kad pakenkimas abiejose pėdose gali būti nevienodas.



16 pav. Žmogaus, sergančio cukriniu diabetu, pėda.



17 pav. Sveiko žmogaus pėda.

Kaip žinoma, paciento ligos diagnozavimui, gali būti naudojami išoriniai, dirbtinai sukelti stimulai. Tokiu atveju, yra stebima organizmo reakcija į sukeltą stimulą. Vienas iš tokių stimulų – šalčio stimulus (angl. *cold stimulus*). Šio stimulo pagalba stebimas paciento organizmo gebėjimas reguliuoti ir valdyti kūno temperatūrą įvairiose kūno vietose.

1.5.4 Krūties vėžio diagnostika

Krūties vėžys – tai dažniausia onkologinė moterų liga ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje. Šios ligos priežastys dar nėra iki galo aiškios. Kuo anksčiau diagnozuojamas krūties vėžys, tuo geresni gydymo rezultatai. Krūties vėžio detektavimui taikomas ne tik mamografinis tyrimas, bet ir termovizinis, kuris gali parodyti temperatūrinius pakitimus. Krūties vėžio ankstyvoje diagnostikoje termografija yra patikimesnis diagnostikos būdas nei mamografija ir kai kuriais atvejais padeda nustatyti patologiją trimis metais anksčiau, nei ji matoma mamogramose [16]. Tai metodas, kuris padeda įvertinti rizikos laipsnį ir išvengti daugelio nereikalingų biopsijų.

Iš krūties termogramos galima diagnozuoti kraujagyslių išsiplėtimą, sukeltą padidėjusio estrogeno kiekio, kuris yra vienas vėžio rizikos veiksnių. Krūties auglių termografinio tyrimo koncepcija yra paremta tuo, kad metastazuojantys navikai sukuria aukštesnę temperatūrą lyginant su aplinkiniais audiniais dėl navikinių struktūrų padidinto metabolinio aktyvumo bei dėl naviko angiogenezės ypatumų.

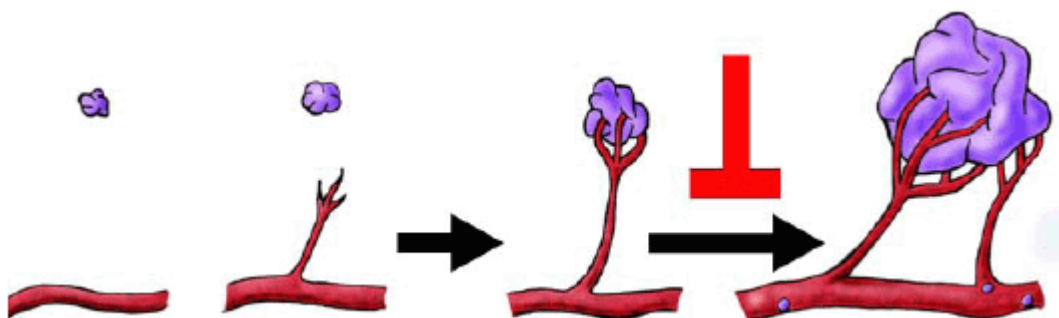
Termovizija padeda aptikti ankstyvų stadijų vėžinius darinius ir tais atvejais, kai atliktas pirminis mamografijos tyrimas patologijos neatskleidė. Be to periodiškai atliekant termovizijos tyrimus ir remiantis tyrimo rezultatais galima sekti ligos eigą ir rekomenduoti pacientui tinkamiausią gydymo būdą.

Normalios ląstelės gebėjimas dalytis yra viena iš svarbiausių gyvybinių funkcijų savybių. Jos dalijasi tada, kada yra audinys pažeidžiamas ir žuvusios ląstelės pakeičiamos naujomis. Svarbu tai, kad navikinės ląstelės praranda dalijimosi kontrolę, jos mutuoja. Nors iš pradžių dalijimosi greitis panašus kaip normalių ląstelių, bet laikui bėgant navikinės ląstelės augimas spartėja, sutrinka ląstelės ir organizmo tarpusavio sąveika bei dauginimosi kontrolės mechanizmas. Navikui augant kinta audinio struktūra, forma, vyksta displazija. Struktūrą keičia ląstelės, reaguojančios į navikinių ląstelių signalus.

Kad navikas augtų, jam būtinas deguonis ir kitos augimui būtinos medžiagos. Šias visas medžiagas navikas gali gauti tik iš kraujo, tad jis turi turėti kraujagyslių. Be kraujagyslių navikas gali augti iki labai nedidelių matmenų. Tačiau didėjant navikui dėl atitinkamų genų mutacijų tarpląsteliniam užpilde atsiranda cheminių junginių – angiogenetinių veiksnių ir citokinų, kurie stimuliuoja naujų kapiliarų atsiradimą ir jų augimą į navikinį audinį – prasideda angiogenezė.

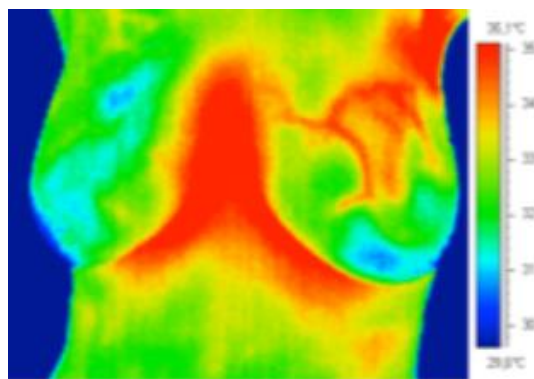
Angiogenezę stimuliuoja pačios vėžinės ląstelės, išskirdamos kraujagyslių endotelio augimo faktorius, kurie nurodo kraujagyslėms augti. Normaliomis sąlygomis angiogenezės procesas griežtai kontroliuojamas organizmo.

Kaip ir parodyta 18 paveiksle, vystantis navikui, šis susikuria savo kraujotakos sistemą. Atsiranda papildomos metabolinės reakcijos lyginant su kitomis, sveikomis sritimis. Naujų kraujagyslių piktybiniuose augliuose vystymasis prasideda navikui jau esant 150 μm dydžio ir ypač intensyviai vystosi išaugus jo metaboliniams poreikiams, kada jis jau būna 1 – 2 mm skersmens. Toliau augant, kraujagyslių dar labiau padaugėja. Turėdamas savo kraujotaką bei gaudamas visas augimui reikalingas medžiagas navikas skverbiasi ir į kitus aplinkinius audinius, metastazuoja.



18 pav. Naviko formavimosi procesas

Kraujagyslių struktūra taip pat skiriasi nuo normalių kraujagyslių: jos yra neaiškios, primityvios struktūros, neturi ryšio su autonomines nervų sistema. Tokios patologiškai pakitusios, paprastai didesnio diametro nei normalios kraujagyslės, neturinčios konstrukcijos savybių pasižymi nereguliuojama hiperperfuzija. Todėl piktybiniais navikams paprastai būdinga ir termogramose matoma intensyvi hipertermijos sritis, kurios temperatūra 2 – 2,5°C aukštesnė nei analogiškos simetriškos sveiko audinio srities temperatūra (19 pav.). Šis reiškinys leidžia termoviziją taikyti navikų, kurių kraujagyslės yra arti odos paviršiaus, aptikimui.



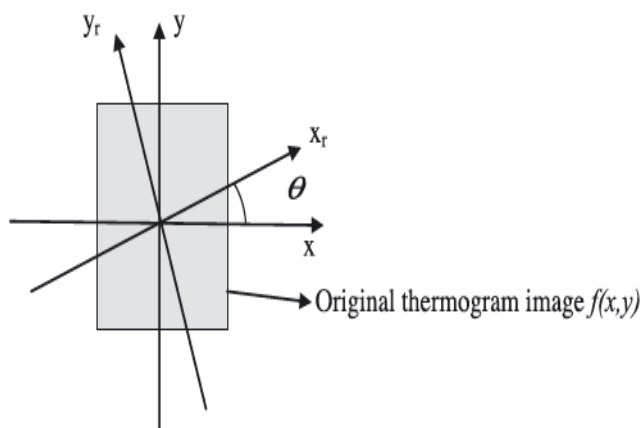
19 pav. Krūtų termograma [16]

Automatiniam krūties vėžio aptikimui U. R. Acharya ir kt. [16] pritaikė aukštesnės eilės spektrinę analizę. Tyrimo tikslas - suklasifikuoti normalių ir anomalių moters krūtų termovaizdus,

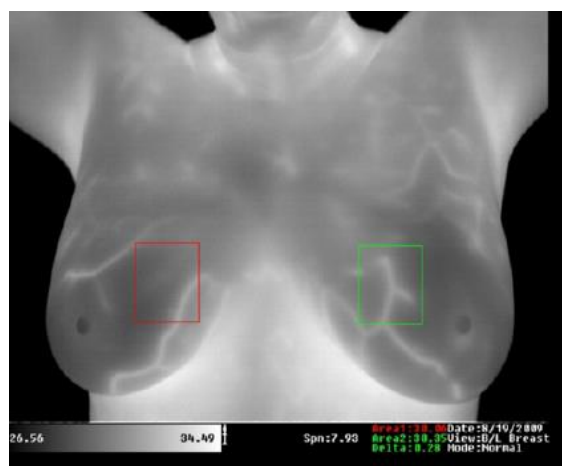
naudojant dirbtinį neuroninį tinklą bei atraminį vektorių klasifikatorių (angl. *support vector machines*).

Tyrimas buvo atliktas 50 - čiai moterų (25 sveikų ir 25 sergančių krūties vėžiu) temperatūros kontroliuojamame kambaryje, kur temperatūros ribos buvo tarp 20°C ir 22°C, drėgmė 60±5 %. Prieš tai moterys kambaryje turėjo praleisti 15 min, tam kad adaptuotųsi prie esamos temperatūros.

Analizei panaudotas skirtingų projekcijų rinkinys, gautas naudojant Radono transformaciją (20 pav.). Radono transformacija apskaičiuoja projekcijas priklausomai nuo pasirinktos krypties, apibrėžiamos kampu θ . Pagal tai randamas vaizdo pasukimo kampas, kuriam esant projekcijos vidutinis dydis didžiausias. Šio rodiklio reikšmės, esant skirtingam θ kampui, panaudojamos kaip klasifikavimo požymiai. 21 paveiksle aiškiai matomos asimetriškos krūties vietos.



20 pav. Geometrinė Radono transformacija [16]



21 pav. Krūties vėžio pažeista sritis termogramoje [16]

Rezultatai parodė, jog naudojant atraminių vektorių klasifikatorių, buvo gautas 76 % jautrumas ir 84 % specifiškumas. Panaudojus dirbtinių neuroninių tinklų klasifikatorių buvo gauti geresni rezultatai: 92 % jautrumas ir 88 % specifiškumas [16].

Analizuojant šių tyrimų rezultatus galima teigti, kad paviršinės kraujotakos intensyvumas gerai atspindi vidaus organų, kuriuose vykstantys patologiniai procesai, lydimi šilumos išskyrimo pokyčių refleksiškai keičia paviršinę kraujotakos, būklę.

Registruojant žmogaus organizmo paviršiaus termovaizdą galima aptikti šilumos gamybos ir perdavimo sutrikimus įvairiose kūno vietose ir tokiu būdu diagnozuoti kraujotakos pažeidimus, nustatyti prasidėjusių uždegiminių, onkologinių, ir kitų ligų pradinius simptomus bei diagnozuoti alergines reakcijas. Vertinant temperatūrų simetriškumą, galima aptikti anomalinės šilumos formavimosi zonas. Mokslinėje literatūroje pateikti rezultatai [16] rodo, jog pritaikius šį metodą ankstyvoje stadijoje, galima išvengti bereikalingos fizinės ar cheminės įtakos organizmui.

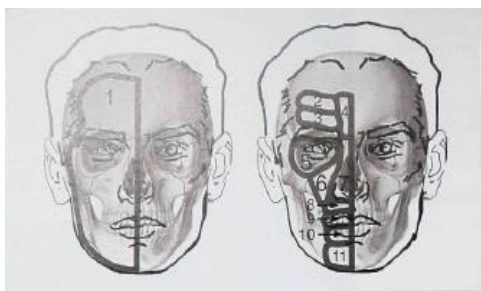
1.5.5 Termovizijos taikymas žandikaulių ligų diagnostikoje

Veido kraujagyslės yra palyginti didelio diametro, išsidėstę ploname audinių sluoksnyje tarp kaukolės ir odos paviršiaus, todėl jos gerai matomos termografiniuose vaizduose. Esant uždegiminiams procesams, nustatomos hipertermijos sritys, atitinkančios infiltraciniams pokyčiams būdingas sritis.

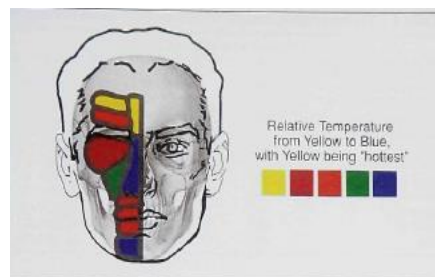
Termovizijos taikymas žandikaulių srities patologijų diagnostikoje yra mažai ištirtas, tačiau reikšmingas medicinoje. Šilumos emisija tiesiogiai susijusi su odos kraujotakos aktyvumu, padidėjusiu šilumos atidavimu vazodilatacijos ir sumažėjusiu šilumos atidavimu vazokonstrikcijos metu [17].

Veido-žandikaulių srities termografinių vaizdų interpretavimas, dėl specifinės anatominės sandaros, yra sudėtingas. Normaliomis sąlygomis žmogaus veidas turi dvi temperatūriškai simetriškas puses. Nustatyta, kad normaliomis sąlygomis odos temperatūros skirtumas tarp atitinkamų simetriškų sričių yra mažas ir siekia vos $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [18].

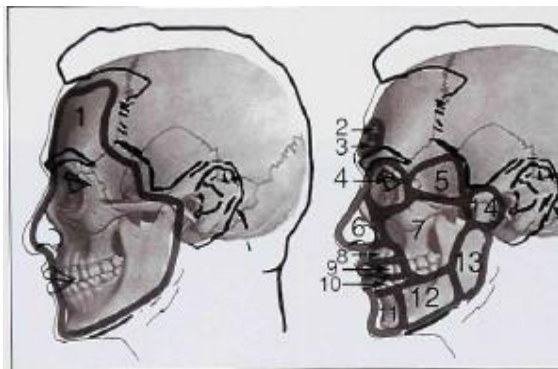
Beveik prieš 20 metų Gratt M. su bendraautoriais [19] nustatė statistiškai reikšmingą vidutinį veido temperatūros simetrijos skirtumą sveikiems žmonėms – $0,1^{\circ}\text{C}$, esant uždegiminiams žandikaulių srities pakitimams – $0,5^{\circ}\text{C}$. Vėliau Gratt M., ir kt. atliko atskirų 25 veido anatominių sričių temperatūrų simetrijos analizę (23, 25 pav.). Kiekvienai anatominių sričių porai buvo paskaičiuotas vidutinių temperatūrų skirtumas. Veido atskirų sričių temperatūrų skirtumas tarp kairės ir dešinės pusių svyravo $0,1\text{--}0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ribose. Nustatyta, kad visose 25 anatominėse zonose vyrų veido temperatūra buvo statistiškai reikšmingai aukštesnė nei moterų. Be to, abiejų lyčių individams buvo nustatytas aukštesnis nei $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ absoliutus temperatūrų skirtumas tarp simetriškų sričių nosies, priekinėje viršutinio žandikaulio srityje, bei abiejų lūpų srityse.



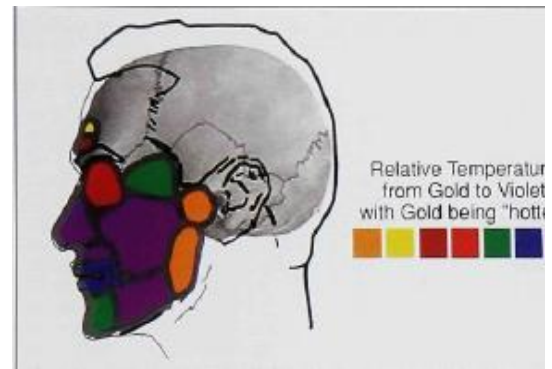
22pav. Frontalinio vaizdo zonų suskirstymas [19]



23pav. Temperatūros pasiskirstymas frontalinėje dalyje [19]



24 pav. Šoninio vaizdo zonų suskirstymas [19]



25 pav. Temperatūros pasiskirstymas šoninėje projekcijoje [19]

Pogrel ir kt. [21] pirmieji nustatė, kad pacientams su piktybiniais žandikaulių srities pakitimais nėra jokių temperatūros simetrijos pokyčių kol navikas nėra pakankamai didelis, kad sąlygotų centrinę nekrozę, kuri termogramose matoma kaip šaltas taškas. Tačiau Hayase Y. ir kt. [22] parodė, kad piktybinių veido srities susirgimų kaip ir ūmaus uždegimo metu, termografu fiksuojama ženkliai aukštesnės temperatūros zona. Tik gerybinės žandikaulių srities navikinės patologijos ir lėtinio uždegimo metu temperatūrų skirtumo tarp simetriškų veido sričių gali nebūti arba gali būti fiksuojama žemesnė pažeistos srities odos temperatūra [22]. Piktybinių navikų atveju vidutinių temperatūrų skirtumas daugumoje atvejų svyravo $0,5^{\circ}\text{C}$ – $2,0^{\circ}\text{C}$ ribose. Ūmaus uždegimo metu vidutinės temperatūros tarp sveikų ir pažeistų audinių dydis skyrėsi nuo $1,0^{\circ}\text{C}$ iki $4,0^{\circ}\text{C}$. Šešiais gerybinių navikų atvejais pažeistos pusės temperatūra nustatyta aukštesnė $0,75$ – $2,0^{\circ}\text{C}$ ribose, kitais 17 atvejų žymesnio temperatūros skirtumo nepastebėta [22]. Cistų ir lėtinių uždegimų metu žymesnio temperatūrų skirtumo neužfiksuota.

Bojkovski J. ir kt. [23] pasauliniame kongrese pristatė preliminarūs duomenis, kad navikinės ir uždegiminės kilmės pakitimų termogramose pastebimas ženklus pažeistos srities vizualinis temperatūrų skirtumas lyginant su sveikais audiniais, tačiau detalesnė integrinių temperatūrų simetrijos analizė šiuose darbuose nebuvo atlikta.

Termografinių vaizdų kontrastingumą gali įtakoti aplinkos poveikis ar žmogaus individualios fiziologinės savybės. Veido odos ir burnos gleivinės temperatūrų simetrijos dydis paros metu gali svyruoti nuo $0,1$ iki $0,3^{\circ}\text{C}$ ir priklauso ne tik nuo fizinio ir emocinio žmogaus krūvio, bet ir nuo daugelio kitų faktorių, tokių kaip vaistų vartojimas, kosmetinių priemonių naudojimas, rūkymas ir kt. [24].

Gratt BM. ir jo kolegos [25] 1996 metais sukūrė klasifikacinę sistemą, pagal kurią buvo vertinamos pacientų su lėtiniu veido skausmu termogramos. Jie nustatė, kad normalios temperatūros audiniai laikomi tada, kai analogiškų anatominių sričių temperatūros vidurkių skirtumas svyruoja tarp 0 ir $+0,25^{\circ}\text{C}$. Aukštesnės temperatūros sritis laikoma tada, kai vidutinių temperatūrų skirtumas tarp

šios srities ir analogiškos kitos veido pusės vidutinės temperatūros yra $>0,35^{\circ}\text{C}$ ir mažesnės temperatūros sritis, kai analogiškas temperatūrų vidurkių skirtumas $<0,35^{\circ}\text{C}$. Kada simetrinėse anatomicinėse srityse integrinių temperatūrų skirtumas svyruoja tarp $0,26-0,35^{\circ}\text{C}$ – rodmenys klasifikuojami kaip dviprasmiški.

1.5.6 Skyriaus išvados

Termografijos taikymo navikinių pakitimų diagnostikoje esmė – tai anomalinės šilumos, kurią sukelia navikinio audinio hipervaskuliarizacija ar uždegimiškai pakitusio audinio hiperemija, aptikimas. Vertinant skirtingų žmogaus kūno pusių temperatūrų simetriškumą, galima aptikti šias anomalinės šilumos formavimosi zonas. Išanalizavus mokslinę literatūrą nustatyta, kad termografijos metu galima aptikti audinių fiziologinius ir funkcinis pokyčius dar prieš atsirandant struktūriniams pažeidimams. Panaudojus automatinius klasifikatorius, termovizinius vaizdus galime suskirstyti į sveikų ir nesveikų pacientų grupes. Tai palengvina daktarų darbą, kurie analizuoja termogramas.

Šiuo metu termografija pasaulyje plačiai naudojama krūtų navikų, odos melanomos bei daugelio kitų sričių patologijų diagnostikoje. Tačiau, termografinių vaizdų galimybės žandikaulių srities patologijų diagnostikoje yra ganėtinai mažai ištirtos. Apžvelgtose mokslinėse publikacijose matome, kad pakitimai termogramose žandikaulių srities navikinių pakitimų metu gali būti matomi, tačiau detalios analizės, kuri leistų naudoti šį tyrimo metodą ankstyvai diagnostikai dar nėra atlikta.

Termovizija galėtų būti naudojama kaip atrankinis diagnostinis metodas, leidžiantis aptikti patologines zonas ankstyvame periode, kol dar pakitimai nėra matomi konvekciniuose radiologiniuose tyrimuose.

Remiantis atliktos literatūros analizės rezultatais galima suformuluoti pagrindinius šio darbo uždavinius:

1. Sukurti pacientų veido ir burnos ertmės tyrimo termovizoriumi metodiką;
2. Sukurti terminių vaizdų apdorojimo algoritmą;
3. Aptikti terminio vaizdo požymius, leisiančius atskirti sveikus audinius nuo pažeistų;
4. Atlikti sukurto žandikaulių srities navikinių pakitimų aptikimo metodo tyrimus.

2 ŽANDIKAULIŲ SRITIES NAVIKINIŲ PAKITIMŲ DIAGNOSTIKOS METODIKA

Atlikę mokslinėje literatūroje aprašytų termografijos taikymo medicinoje metodų analizę, sukaupią informaciją panaudojome metodikos, skirtos žandikaulių srities patologijai diagnozuoti, sukūrimui. Anomalios odos paviršiaus sričių temperatūros bus panaudotos kaip ligos požymiai, būdingų fiziologinių ir patologinių sutrikimų žmogaus veide aptikimui. Pateiktą tyrimo metodiką sudaro tokie etapai:

1. Termovaizdų fiksavimas;
2. Pirminis termovaizdų apdorojimas;
3. Veido bei burnos išorinių kontūrų identifikavimas;
4. Veido ir burnos ertmės simetrijos ašies aptikimas;
5. Integrinių temperatūrų apskaičiavimas;
6. Termovaizdo segmentavimas;
7. Požymių vektoriaus formavimas;
8. Klasifikavimo algoritmų tyrimas;
9. Diagnostinio tikslumo įvertinimas.

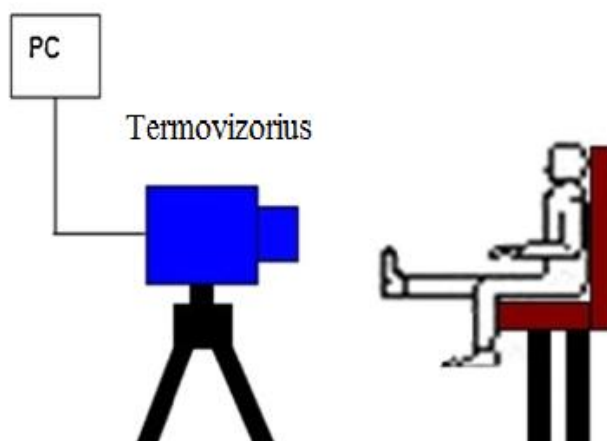
2.1 Žmogaus tyrimo procedūra

Terminių duomenų fiksavimas pradedamas nuo žmogaus fotografavimo termokamera. Atliekant termovizijos tyrimą būtina laikytis šių nurodymų, tam, kad rezultatai būtų tikslūs, neiškraipyti.

- Tyrimo kabinete pacientas turi jaustis komfortabiliai: oro temperatūra turi būti pastovi – 20 – 22°C, oro drėgnumas – 55 – 65%, neturi būti skersvėjų.
- Pacientas privalo apnuoginti tyrimo sritį, tam, kad prisitaikytų prie kambario temperatūros ir pabūti 15 min.
- Paciento odos sritys, kurios bus tiriamos neturi būti po ilgo buvimo saulėje. Rekomenduojama nesideginti saulėje ar soliariume 7 dienas prieš tyrimą.
- Pacientas turi būti nekarščiuojantis (ne mažiau kaip 36 val. po to, kai turėjo padidėjusią temperatūrą).
- Tyrimo dieną pacientas neturi būti naudojęs losjonų, kremų, dezodorantų ar antiperspirantų, pudros ar kitų kosmetikos priemonių tiriamos srities plote.
- Tyrimo dieną neturi skustis ar naudoti kitas plaukų šalinimo priemones.

- 24 val. prieš tyrimą nenaudoti fizinės stimuliacijos priemonių: raumenų stimuliacijos, ultragarso, akupunktūros, karščio ar šalčio aplikatorių.
- Nesportuoti ar nesimankštinti 4 val. iki tyrimo.
- Po maudymosi pirtyje, saunoje, kontrastinėje vonioje turi praeiti ne mažiau nei 24 val.
- Po prausimosi vonioje ar duše turi praeiti ne mažiau, nei 1 val.

Paciento kūnui prisitaikius prie kambario temperatūros, jis pasodinamas vieno metro atstumu priešais termovizorių, kaip pavaizduota 26 paveiksle.



26 pav. Žmogaus kūno tyrimas termovizoriumi

Termografinis tyrimas atliekamas naudojant terminę kamerą FLIR E8 (terminis jautrumas 0,06°C, rezoliucija – 320x240, maksimalus temperatūrinis diapazonas – 20°C - +250°C).



27 pav. Originalus termovaizdas

Visų tiriamųjų veido srities termograma fiksuojama jam esant susičiaupus ir plačiai išsižiojus. Termovizoriumi gautas žmogaus veido vaizdas pateiktas 27 paveiksle.

2.2 Radiometrinės duomenų bylos struktūra

Termovizoriaus vaizdas yra radiometrinė JPEG formato byla, todėl ją būtina konvertuoti į MAT formato duomenų bylas, tinkamas tolimesnei analizei. Tam pasinaudojama FLIR ThermaCam Researcher 2.0 programine įranga. Nuskaitant MAT formato duomenų bylą paketu MATLAB suformuojama duomenų struktūra:

```
Structure =  
IR_8822: [480x640 double]  
IR_8822_DateTime: [1970 1 1 0 0 0 616]*  
IR_8822_ObjectParam: [0.9800 2 293.1500 293.1500 0.3000 0.9930 0 293.1500 293.1500 1]  
IR_8822_Scaling: [1x9 double]  
IR_8822_FrameInfo: [1 0].
```

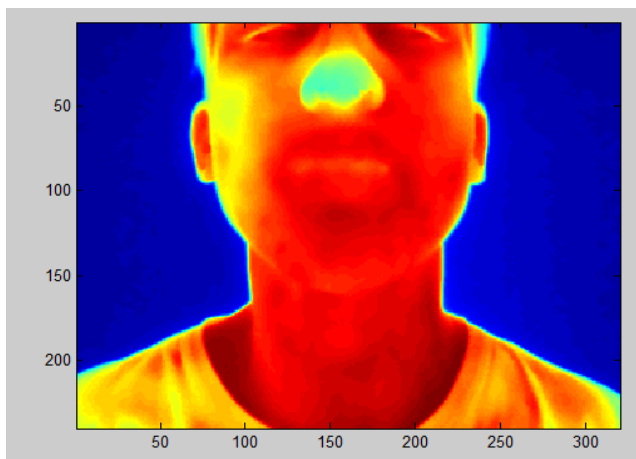
Pirmajame struktūros elemente išsaugomi termogramos duomenys, kurie parodo vaizdo dydį ir temperatūrą, išreikštą kelvinais. Kitoje eilutėje išsaugoma tyrimo data ir laikas. Trečiasis struktūros elementas yra radiometrinė tyrimo informacija, kurią sudaro 10 parametrų (emisijos koeficientas, atstumas tarp kameros ir objekto, atspindėta temperatūra, atmosferos temperatūra, santykinė drėgmė, apskaičiuota atmosferos pralaida (angl. *transmission*) ir t.t. Ketvirtajame struktūros elemente nurodomi termokameros skalės parametrai. Paskutinis struktūros elementas apibūdina kadro informaciją. Kiekvieno tyrimo sukauptų vaizdų analizė pradedama nuo suformuotos duomenų struktūros patikrinimo. Atstumas tarp kameros ir paciento, emisijos koeficientas, atmosferos temperatūra, drėgmė turi būti teisingame diapazone.

2.3 Termovizinių vaizdų apdorojimas

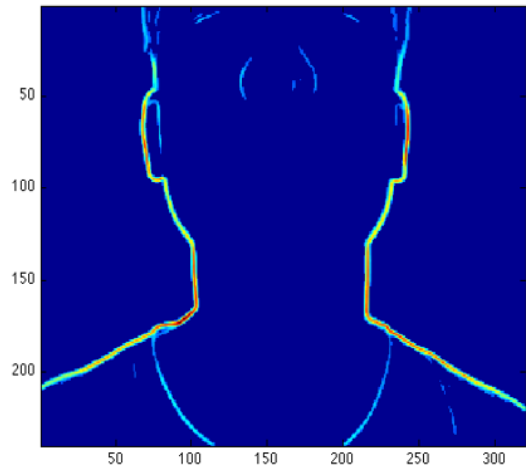
Pirminis vaizdo apdorojimas pradedamas nuo dvimačio temperatūrų vaizdo suformavimo analizuojant turimą duomenų struktūrą. Kadangi duomenų struktūroje temperatūros yra išreikštos Kelvino vienetais, atliekamas visų temperatūrų konvertavimas į Celsijaus skalę. Tokiu būdu suformuojama 320x240 dydžio temperatūros reikšmių matrica, kuri toliau naudojama kaip tyrimui reikalingi duomenys.

2.3.1 Veido kontūrų išskyrimas

Atliekant turimo dvimačio termovaizdo apdorojimą identifikuojami žmogaus veido kontūrai, kurie apibrėžia analizės sritį (28, b pav.). Kontūro linija fiksuojama toje vietoje, kurioje yra staigus temperatūros pokytis pereinant iš vieno pikselio į kitą. Pritaikius kontūrų atpažinimo metodą, aptinkami visi vaizde esančių objektų kraštai.



a



b

28 pav. Kontūrų radimas Previto metodu.

Pasirinkome populiariausią Previto operatorių (angl. *Prewitt operator*), kurį panaudojant atliekamas termovizoriumi gautų vaizdų apdorojimas, siekiant aptikti vaizde esančių objektų kontūrus. Mūsų konkrečiu atveju, ieškomi paciento veido kontūrai. Taigi, Previto filtro panaudojimo tikslas – rasti paveikslo sritis, kuriuose temperatūra keičiasi sparčiausiai.

Kaip ir daugelis kitų metodų, skirtų rasti vaizdų kontūrus, Previto filtro veikimo principas yra paremtas gradiento skaičiavimu. Tokiu būdu priimta, kad staigus signalo intensyvumo (gradiento) pokytis pažymi objekto kraštą. Gradientas skaičiuojamas kiekviename originalaus paveikslo taške (pikselyje) dviem kryptimis: vertikalia ir horizontalia. Didžiausiems temperatūros pokyčiams surasti naudojamos Previto operatoriaus kaukės (angl. *mask*), kurios yra 90° kampu viena kitos atžvilgiu pasuktos 3X3 dydžio matricos. Nesunku suprasti, kad tokiu kampu pasuktos kaukės tam, kad gradientas būtų skaičiuojamas tiek vertikalia tiek horizontalia kryptimi:

$$\left\{ G_{YM} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} \right\} \quad (2.1)$$

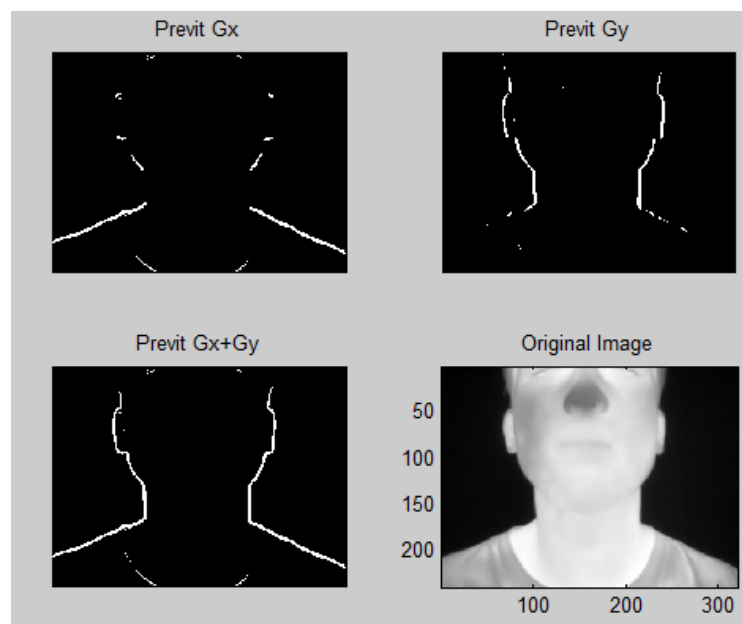
$$\left\{ G_{XM} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \right\} \quad (2.2)$$

čia G_{xm} – Previto kaukė išvestinės skaičiavimui x (horizontalia) kryptimi, G_{ym} – Previto kaukė išvestinės skaičiavimui y (vertikalia) kryptimi.

Daugelis vaizdų apdorojimo filtrų realizuojami panaudojant sąsukų skaičiavimą. Filtravimas atliekamas slenkant iš anksto nustatyto dydžio langą (branduolį arba kaukę) per vaizdo matricą, dažniausiai pradedant iš viršutinio kairiojo kampo, taip, kad būtų pereita per visus vaizdo taškus. Jei

atvaizdas turi M eilučių ir N stulpelių, o kaukė turi m eilučių ir n stulpelių, tai išėjimo atvaizdas turės $M-m+1$ eilučių ir $N-n+1$ stulpelių.

Panaudojus G_{XM} kaukę, apskaičiuojami ir atvaizduojami vertikalūs kraštai, G_{YM} atvirkščiai – horizontalūs objekto kraštai. Susumavus vertikalius ir horizontalius kontūrus, gaunami pilni objekto kontūrai (29 pav.). Iš esmės, panaudojant kaukę yra skaičiuojama pirmosios eilės išvestinė kiekvienoje originalaus termovaizdo pikselio vietoje. Kaip matyti iš anksčiau pateiktų kaukių matematinių išraiškų, kai centrinio stulpelio ar eilutės reikšmės lygios nuliui, tuose taškuose gradientas neskaičiuojamas, o skaičiuojamas temperatūros pokytis iš dešinės ir kairės (atitinkamai iš apačios ir viršaus).



29 pav. Kontūrų G_x ir G_y vaizdai

Ieškant objekto kontūrų, šios kaukės gali būti naudojamos tiek kartu tiek atskirai, tačiau norint rasti didžiausią absoliutinę gradiento reikšmę, abi kaukės naudojamos kartu [26]. Gradiento dydis gali būti randamas naudojantis šia formule:

$$\left\{ |G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \right\} \quad (2.3)$$

Dažniausiai skaičiavimo patogumui ir siekiant sumažinti reikiamų kompiuterio resursų kiekį naudojama aproksimuota gradiento skaičiavimo formulė:

$$\{|G| = |G_x| + |G_y|\} \quad (2.4)$$

Kaip ir minėjome anksčiau, gradientas ieškomas kiekviename originalaus termovaizdo taške dviem kryptimis, o didžiausios gradiento reikšmės priimamos kaip objekto kontūrai. Taigi tiek

horizontalia, tiek vertikalia kryptimi gradientas iš originalaus termovaizdo turėtų būti skaičiuojamas sekančiai [26]:

$$\left\{ G_Y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} \times A \right\} \quad (2.5)$$

$$\left\{ G_X = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \times A \right\} \quad (2.6)$$

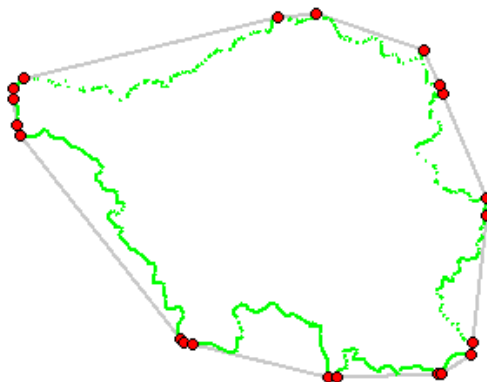
čia: A – originalaus termovaizdo temperatūrų matrica.

Tokiu būdu suformuojamas dvimatis gradiento vaizdas (28, a pav.). Reikšmės su didžiausiu gradientu, panaudojamos kontūrų aptikimui.

2.3.2 Veido simetrijos ašies aptikimas

Kaip jau žinoma iš ankstesnių skyrelių, piktybiniams navikams diagnozuoti reikalingas temperatūros matavimas ir lyginimas sveikuose ir pakitusiuose audiniuose. Kadangi, šiuo atveju siekiama diagnozuoti žandikaulių srities navikinius pakitimus, būtinas temperatūros matavimas simetriškose žmogaus veido srityse ir atsiranda būtinybė ne tik identifikuoti veido kontūrus, bet ir aptikti veido srities simetrijos ašį.

Tam, kad aptikti veido simetrijos ašį, reikalinga taisysklina kontūrą apibūdinanti figūra. Remiantis tuo, kad veido kontūrą sudaro daugybė atskirų taškų, pradžioje atrenkame tik išorinius veido srities taškus t.y surandame veidą gaubiantį daugiakampį (angl. *convex hull*) (30 pav.).

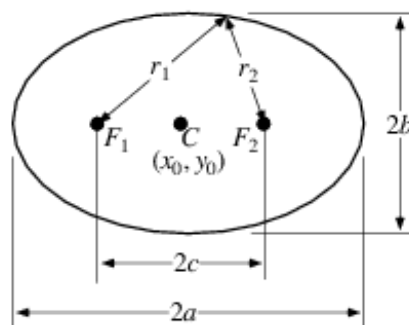


30 pav. Kontūrą gaubiantis daugiakampis [27]

Veido kontūrą gaubiantis daugiakampis tai mažiausia netaisyklina figūra, kuri gaubia visus kontūro taškus. Kitaip tariant, dvimatėje erdvėje nubrėžiamas mažiausio perimetro daugiakampis, apimantis analizuojamą figūrą.

Kaip taisyklingą figūrą simetrijos ašiai nustatyti, pasirenkame elipsę. Dėl šios priežasties, išoriniai kontūro taškai yra aproksimuojami elipse. Tam, kad vaizdą gaubiantį daugiakampį aproksimuoti elipse, yra sudaromas daugiakampio viršūnių duomenų masyvas, kuriame saugomos atskirų gaubtinės taškų x ir y koordinatčių reikšmės.

Bendru atveju elipsė yra atskiras apskritimo atvejis. Elipsė tai geometrinė figūra, kai nuo kiekvieno jos taško atstumų iki dviejų fiksuotų taškų suma yra pastovus dydis. Kitaip sakant, atstumų r_1 ir r_2 (31 pav.) suma iki bet kurio kreivės taško yra pastovus dydis. Pagrindiniai parametrai apibūdinantys elipsę – pagrindinės pusiau ašies ilgis (a), mažosios pusiau ašies ilgis (b) ir elipsės centro koordinatės (x_0, y_0).



31 pav. Elipsės parametrai [27]

Dažniausiai elipsė pateikiama Dekarto koordinatčių sistemoje ir aprašoma išraiška [27]:

$$\left\{ \frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} = 1 \right\} \quad (2.7)$$

Tam kad veido kontūro išorinius taškus būtų galima aproksimuoti elipse, naudojama kvadratinė elipsės išraiška [27]:

$$\{F(A, X) = A \times X = ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2fy + g = 0\} \quad (2.8)$$

čia: $A = [a \ b \ c \ d \ e \ f]^T$, $X = [x^2 \ xy \ y^2 \ x \ y \ 1]^T$, $F(A, X_i)$ – atstumas nuo kontūro taško (x, y) , iki ieškomos elipsės $F(A, X) = 0$.

Anksčiau pateiktoje (2.8) formulėje nežinomų parametų rinkinio reikšmės (a, b, c, d, e, f) MATLAB aplinkoje apskaičiuojamas naudojant mažiausių kvadratų metodą (angl. *Least Square sense*). [30]. Apskaičiuotos šio parametų rinkinio reikšmės, skirtos maksimaliai sumažinti atstumus tarp aproksimuojamojo gaubiančiojo daugiakampio (paciento veido srities kontūro) ir aproksimuojančios elipsės taškų. Tam kad, elipsė maksimaliai atitiktų analizuojamą veido kontūrą reikia surasti mažiausių kvadratinų atstumų sumą nuo ieškomos elipsės iki kontūro N taškų (x_i, y_i) :

$$\left\{ D_A(a) = \sum_{i=1}^N F(x_i, y_i)^2 \right\} \quad (2.9)$$

Iš esmės, skaičiuojamos parametrų rinkinio reikšmės bendrąją elipsės išraišką pritaiko netaisyklingo gaubiančiojo daugiakampio aproksimacijai. Svarbu paminėti, kad skaičiuojamieji parametrai turi būti kuo mažesni bet nelygūs 0, kitu atveju gaunama bendroji elipse [31].

Pasinaudojant kvadratine elipsės išraišką, apskaičiuojamos elipsės centro koordinatės [31]:

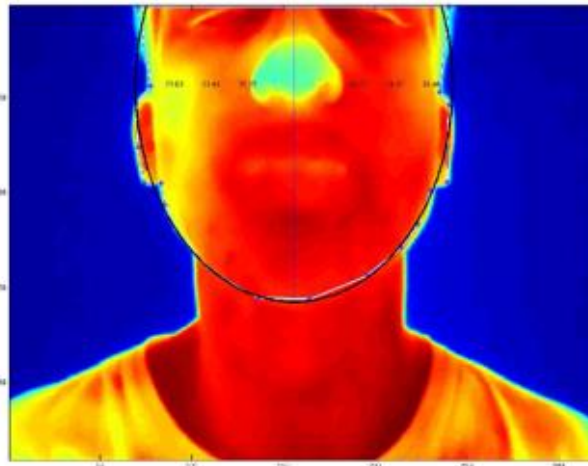
$$\left\{ x_0 = \frac{cd - bf}{b^2 - ac} \right\} \quad (2.10)$$

$$\left\{ y_0 = \frac{af - bd}{b^2 - ac} \right\} \quad (2.11)$$

Ieškant simetrijos ašies taip pat svarbus ir jos pasvirimo kampas (ϕ) vaizdo horizontalės atžvilgiu:

$$\left\{ \phi = \begin{cases} 0 & \text{kai } b = 0, a < c \\ \frac{1}{2}\pi & \text{kai } b = 0, a > c \\ \frac{1}{2}\cot^{-1}\left(\frac{a-c}{2b}\right) & \text{kai } b \neq 0, a < c \\ \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2}\cot^{-1}\left(\frac{a-c}{2b}\right) & \text{kai } b \neq 0, a > c \end{cases} \right\} \quad (2.12)$$

Taigi, apskaičiuota elipsės pagrindinė ašis žymi paciento veido simetrijos ašį (32 pav.). Tolimesniuose skaičiavimuose ši ašis naudojama vaizdą suskirstyti į dvi nepriklausomas sritis, kurių vidutinės temperatūros apskaičiuojamos ir tarpusavyje palyginamos.



32 pav. Elipsė pritaikoma, skaičiuojant veido simetrijos ašį

Analogiškai aptinkama ir burnos ertmės simetrijos ašis.

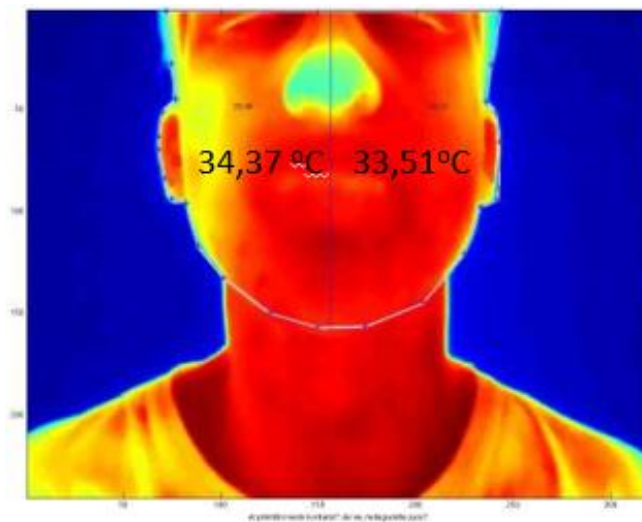
2.3.3 Temperatūrinių rodiklių skaičiavimas

Temperatūrinių rodiklių skaičiavimas apima temperatūrinių sričių vidutinius, maksimalius ir minimalius įvertinimus. Vidutinių temperatūrų skaičiavimas pagrįstas visų pikselių temperatūrų sumavimu vienoje veido arba burnos ertmės kontūrais apribotos srities pusėje ir padalinamos iš tų taškų skaičiaus:

$$\left\{ t_{vid} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \right\} \quad (2.13)$$

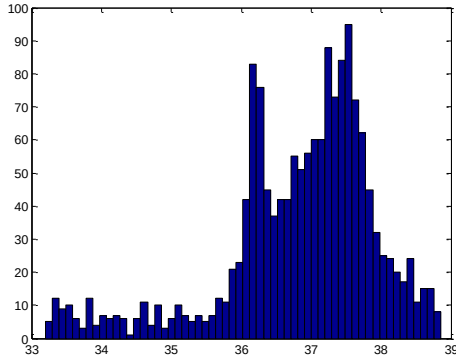
čia: N – taškų skaičius, kurie yra analizuojamoje srityje; t_i – individualaus taško temperatūros dydis.

33 paveiksle pateiktas temperatūros vidurkio skaičiavimo pavyzdys. Apskaičiuotos temperatūros tarpusavyje palyginamos. Analogiškai, tose pat srityse surandamos maksimalios ir minimalios temperatūros.

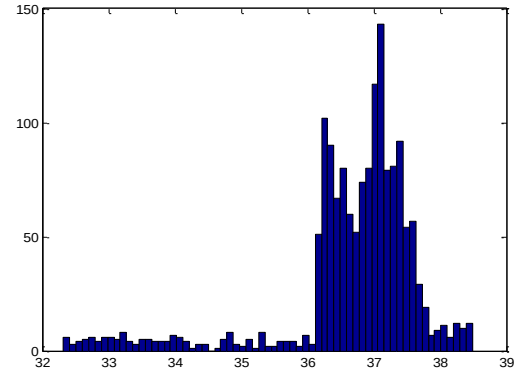


33 pav. Apskaičiuojama dešinės ir kairės paciento veido pusės vidutinė temperatūra

Svarbu tai, jog nelygintume po vieną maksimalią temperatūrą turintį tašką, o būtų panaudotas taškų grupių vidurkis. Tai yra būtina todėl, kad individualus termovaizdo elementas gali turėti didelę temperatūrą dėl kameros darbo sutrikimo.



34 pav. Dešinės veido pusės histograma



35 pav. Kairės veido pusės histograma

Pasirinkus tinkamą histogramos diskretiškumą, įvertinama kokią didžiausią temperatūrą turinčių taškų skaičius sudaro 0,1 % visų taškų.

Histogramos diskretiškumą apsprendžia pasirinktas įvertinimo tikslumas. Todėl skaičiuojamos histogramos taškų skaičius hts iš anksto nustatomas panaudojant tokią formulę:

$$\left\{ hts = \frac{t_{max} - t_{min}}{\Delta T} \right\} \quad (2.14)$$

čia: ΔT – reikiamas diskretiškumas, t_{max} – absoliučiai didžiausia temperatūra, kurią turi bent vienas termovaizdo elementas (pikselis), t_{min} – absoliučiai mažiausia temperatūra, kurią turi bent vienas termovaizdo elementas (pikselis).

Tada, apskaičiavus veido arba burnos ertmės histogramas (34, 35 pav.), nustatoma analizuojama maksimali atitinkamos veido arba burnos ertmės pusės temperatūra, išreikšta kaip didžiausią temperatūrą turinčių taškų, kurie sudaro 0,1 % visų taškų, vidutinė temperatūra:

$$\left\{ T_{max} = \frac{1}{0,001 \times hts} \sum_{i=hts-0,001 \times hts}^{hts} t_i \right\} \quad (2.15)$$

Siekiant tarpusavyje palyginti atitinkamų veido arba burnos ertmės pusių histogramas, apskaičiuojamas taškų, kurių temperatūra yra didesnė už priešingos veido (burnos ertmės) pusės maksimalią temperatūrą (pastaroji reikšmė padidinta dydžiu ΔT), skaičius n_{tsk} . Jis lygus:

$$n_{tsk} = \begin{cases} \sum_{i=i_{r_{\max D+\Delta T}}}^{ht_{SK}} n_{ki}, & \text{jeigu } T_{\max K} > T_{\max D} + \Delta T \\ \sum_{i=i_{r_{\max K+\Delta T}}}^{ht_{SD}} n_{di}, & \text{jeigu } T_{\max D} > T_{\max K} + \Delta T \\ 0, & \text{jeigu } |T_{\max D} - T_{\max K}| < \Delta T \end{cases} \quad (2.16)$$

čia n_{di} ir n_{ki} atitinkamai dešinės ir kairės pusės i -ją temperatūrą turinčių taškų skaičius, $T_{\max D}$ – maksimali dešinės pusės temperatūra, $T_{\max K}$ – maksimali kairės pusės temperatūra.

Taškų skaičius bus panaudotas kaip papildomas požymis, įvertinant aukštesnės temperatūros srities plotą.

2.3.4 Termovaizdų segmentavimas

Vaizdo skaidymo į segmentus tikslas yra išskirti mus dominančias sritis ir jas grafiškai pavaizduoti. Segmentuotas vaizdas tampa lengviau analizuojamas. Vaizdo segmentavimo metu jis suskirstomas į segmentus pagal tam tikrą vizualų požymį ar požymių kombinaciją. Tyrimo atveju, kaip požymis pasirinktas veido arba burnos ertmės absoliutinės temperatūros dydis:

$$\{t_i + \Delta t/2 > t_i > t_i - \Delta t/2\} \quad (2.17)$$

čia: t_i – i -jo segmento vidutinė temperatūra, °C, Δt – segmentavimo intervalas.

Segmentuoto vaizdo $g(x,y)$ elementui priskiriama atitinkama vidutinė segmento temperatūros reikšmė:

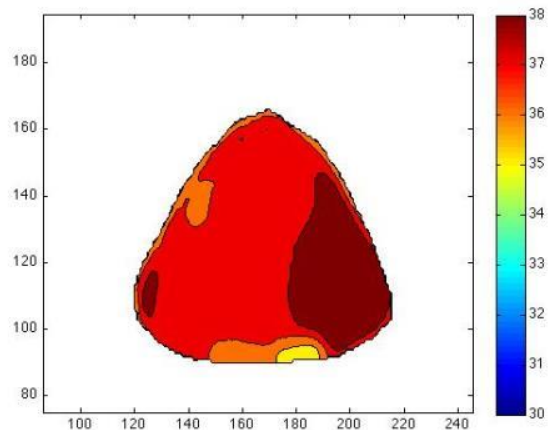
$$g(x,y) = \begin{cases} t_{i+1}, & \text{jeigu } I(x,y) > t_i \\ t_i, & \text{jeigu } t_i + \frac{\Delta t}{2} > I(x,y) \geq t_i - \Delta t/2 \\ t_{i-1}, & \text{jeigu } I(x,y) \leq t_i \end{cases} \quad (2.18)$$

čia: $I(x,y)$ – originalus termovaizdas.

Daugumoje atvejų pažeista sritis matoma tik burnos ertmės vaizde (36 pav.), todėl juos ir būtina segmentuoti. Pasirinkus $\Delta T=1^\circ\text{C}$, anomali vieta išsiskiria tamsiai raudona spalva burnos ertmėje, todėl išskiriame mums svarbią vietą – pažeistą sritį (37 pav.). Išskyrėme sritį, kuri aktuali diagnostiniam vertinimui.



36 pav. Paciento termovaizdas jam išsižiojus



37 pav. Segmentuotas paciento burnos ertmės vaizdas

2.3.5 Klasifikatoriaus taikymas

Klasifikatoriaus taikymo tikslas – pagal turimų termovaizdų požymius atlikti automatišką diagnozavimą. Tam tikslui įvykdyti buvo pasirinktas klasifikavimo algoritmas k – artimiausių kaimynų (angl. k – *nearest neighbor*) metodas.

k – artimiausių kaimynų klasifikatoriaus (kNN) algoritmas paremtas atstumo nustatymu tarp klasifikuojamų duomenų ir užduotų pavydžių (angl. *training*). Kitaip tariant, klasifikatorius tiriamuosius duomenis suskirsto į pasirinktas grupes nustatydamas mažiausius skirtumus tarp lyginamųjų reikšmių. Dėl savo efektyvumo, ir plataus pritaikymo, šis klasifikatorius naudojamas daugelyje sričių. Taip pat šis metodas puikiai pritaikomas skaitinių reikšmių skirstymui į pasirinktas grupes. Mūsų konkrečiu atveju, kNN klasifikatorius naudojamas pacientų termovaizdų suskirstymui į dvi klases pagal atitinkamus vaizdo požymius.

Naujų elementų klasės nustatymas gali būti vykdomas keliais metodais:

- Globaliu metodu – analizuojamos visos duomenų srityje esančios reikšmės;
- Lokaliu metodu – analizuojamas tik ribotas skaičius artimiausių kaimyninių reikšmių.

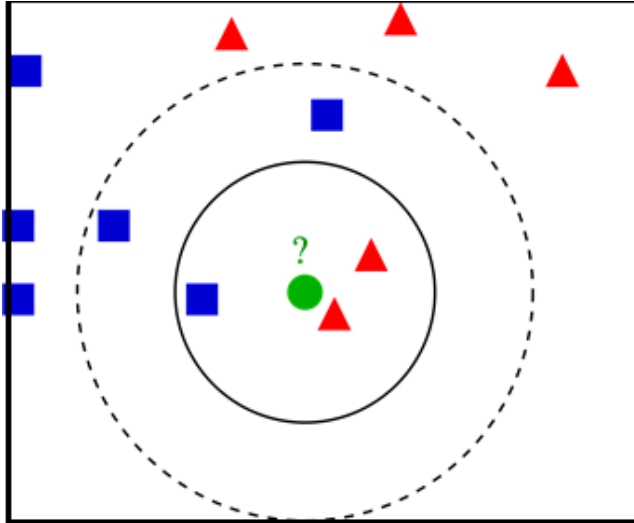
Bendru atveju, naujų elementų klasės priskyrimas remiasi atstumo iki kaimynų nustatymu. Parametras apibrėžiantis kaimynų skaičių – k . Atstumas tarp klasifikuojamo elemento a ir jo kaimyno b gali būti apskaičiuojamas pagal Euklido atstumo formulę [32]:

$$\left\{ \begin{aligned} d(a, b) &= d(b, a) = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + \dots + (a_n - b_n)^2} = \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

kur a_i ir b_i – vektorių dimensijos.

Taip pat, šiuo atveju, naujas elementas priskiriamas tai klasei, kurios elementų tarp artimiausių kaimynų yra daugiausia [32]:

$$\left\{ \hat{f}(x_a) \leftarrow \arg \max \sum_{i=1}^k \delta(v, f(x_i)) \right\} \quad (2.20)$$



38 pav. Elementų klasifikavimas remiantis k parametru [32]

Pateiktame 38 paveiksle vaizduojamas elementų klasifikavimo pavyzdys. Ištisa linija ir brūkšnine linija pažymėti apskritimai aprašomi skirtingomis k reikšmėmis ($k = 3$ ir $k = 5$). Skirstomos klasės yra kvadratai ir trikampiai. Taigi, remiantis klasifikatoriaus algoritmo veikimu, klaustuku pažymėta figūra skirstoma į atskiras klases priklausomai nuo k reikšmės. Tuo atveju, kai $k=3$ (ištisos linijos apskritimas), priskiriamas trikampių klasei, kadangi tarp klasifikuojamų elementų jų yra daugiau. Kada $k=5$ reikšmė (brūkšnine linija žymimas apskritimas), šis elementas jau priskiriamas kvadratų klasei. Būtent dėl šios priežasties, atsiranda būtinybė optimaliai parikti klasifikavimo parametą k [32].

Mūsų konkrečiu atveju, sveikų ir sergančių pacientų klasifikavimas vykdomas MATLAB aplinkoje, o atstumas tarp klasifikuojamų elementų nustatomas ne pagal Euklido formulę, o

koreliacijos metodu. Apskaičiuojami koreliaciniai atstumai tarp apmokymui skirtų sveikų ir sergančių pacientų atitinkamų požymių vektorių reikšmių ir testuojamo vaizdo požymio vektoriaus:

$$\left\{d_{st} = 1 - \left| \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s}_n) \cdot (t_i - \bar{t}_n)}{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s}_n)^2 \cdot (t_i - \bar{t}_n)^2} \right| \right\} \quad (2.21)$$

čia: s_i, t_i – atitinkamai apmokymo ir testinio vektorių kintamųjų reikšmės, $\bar{s}, \bar{t}$ – šių kintamųjų imties vidurkis, n – požymių vektoriaus reikšmių skaičius.

Kadangi pacientai skirstomi tik į dvi grupes, klasifikacijai naudojami du artimiausi kaimynai ($k=2$).

Sveikų ir sergančių pacientų grupėms apibūdinti buvo sudaromi požymių vektoriai. Juos sudarė atskiros pacientų grupės veido srities dešinės ir kairės pusių vidutinių temperatūrų skirtumas, skirtumas tarp veido srities dešinės ir kairės didžiausių temperatūrų, taškų, kuriuose veido srities dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per 0,4°C viršija kairės (dešinės) pusės maksimalią temperatūrą, skaičius, burnos ertmės dešinės ir kairės pusių vidutinių temperatūrų skirtumas, skirtumas tarp burnos ertmės dešinės ir kairės didžiausių temperatūrų, taškų, kuriuose burnos ertmės dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per 0,4°C viršija kairės (dešinės) pusės maksimalią temperatūrą, skaičius. Pagal šiuos požymius atliekamas pacientų klasifikavimas į sveikų ir sergančių klases.

Apskaičiuotas mažesnis koreliacijos atstumas tarp artimiausių kaimynų (sveikų arba ligotų) ir klasifikuojamo paciento duomenų, nusako kuriai klasei priskiriamas pacientas. T.y. jeigu mažesnis koreliacijos atstumas yra gautas su sveikų požymių vektoriais, pacientas priskiriamas sveikų grupei. Kitu atveju atvirkščiai.

kNN klasifikatoriaus didžiausi privalumai yra tai, jog jis labai paprastai įdiegiamas (gali būti panaudotas ir mobiliuose įrenginiuose), pakankamai tikslus, bei mažas derinamų parametrų kiekis.

3 TYRIMO REZULTATAI

Termovizijos metodo taikymo tyrimas buvo atliktas 21 pacientui (12 iš jų sveiki, o likusieji 9 su temperatūriniu asimetriškumu), naudojant sukurta termovizijos metodą Radiologijos klinikoje, Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninėje. Visi pacientai papildomai buvo tiriami kompiuteriniu tomografu Toshiba „ONE Aquilion“. Žmogaus veido srities bei burnos ertmės temperatūros vidurkis bei aukščiausia temperatūra buvo skaičiuojama 5 kartus vienam termovaizdui, o gauti rezultatai suvidurkinti. Tai daryta todėl, kad identifikuojant veido kontūrus reikalingas operatoriaus įsikišimas ir veido (burnos ertmės) kontūre atsiranda keletas taškų, kurių padėtis yra subjektyviai nustatyta.

Kiekvieno paciento veidas buvo fotografuojamas iš priekio bei jam išsižiojus. Radiometrinės JPEG formato bylos konvertuotos MAT formato duomenų bylas, kuriose suformuojama duomenų struktūra. Taip pat atliktos temperatūrų konvertavimas į Celsijaus skalę. Kiekvieno tyrimo metu patikrinkta suformuota duomenų struktūra. Identifikuojant žmogaus veido kontūrus panaudotas Previto metodas. Kiekvieno žmogaus termovaizduose buvo surastos veido arba burnos ertmės simetrijos ašys. Tam tikslui iš pacientų veido kontūrų taškų buvo sudarytas gaubiamasis daugiakampis, kuris aproksimuotas elipse. Tam, kad veido kontūro išorinius taškus būtų galima aproksimuoti elipse, apskaičiuojama kvadratinė elipsės išraiška (2.8). Taip pat apskaičiuojama mažiausių kvadratinų atstumų suma (2.9) tam, kad elipsė maksimaliai atitiktų analizuojamą veido (burnos ertmės) kontūrą. Be to apskaičiuojamos elipsės centro koordinatės (2.10, 2.11) bei simetrijos ašies pasvirimo kampas (2.12). Suradus simetrijos ašį ir padalinus veido vaizdą (burnos ertmės vaizdą) į dvi atskiras dalis, visiems pacientams apskaičiuojamos atskirų pusių vidutinės ir maksimalios temperatūros, taip pat taškų, kurių atitinkamos veido ar burnos ertmės pusės temperatūra yra $0,4^{\circ}\text{C}$ ir daugiau didesnė nei maksimali kitos veido ar burnos ertmės pusės temperatūra, skaičius. Suformuojami sveikų ir sergančių pacientų požymių vektoriai (3.1. lentelė).

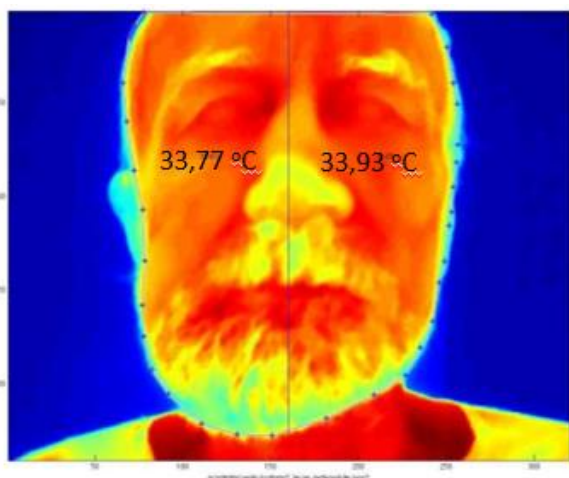
3.1. lentelė. Sveikųjų ir sergančiųjų pacientų požymių vektoriai

	SVEIKI	LIGOTI
Veido srities vidutinių temperatūrų skirtumas	0,15	0,28
Veido srities didžiausių temperatūrų skirtumas	0,06	0,63
Taškų, kuriuose veido srities dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per $0,4^{\circ}\text{C}$ viršija kairės (dešinės) pusės maksimalią temperatūrą, skaičius	0	3,66
Burnos ertmės vidutinių temperatūrų skirtumas	0,35	0,54
Burnos ertmės didžiausių temperatūrų skirtumas	0,19	0,63

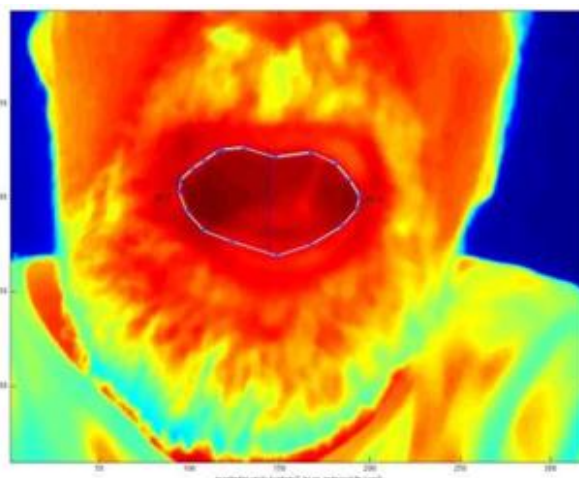
3.1. lentelė. Tęsinys

	SVEIKI	LIGOTI
Taškų, kuriuose burnos ertmės dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per $0,4^{\circ}\text{C}$ viršija kairės (dešinės) pusės maksimalią temperatūrą, skaičius	0	59,33

Atlikus pacientams termovizijos tyrimą, daugumoje atvejų, veido srities termovaizdai nebuvo informatyvūs. Vidutinės temperatūros skirtumai tarp kairės ir dešinės veido pusės buvo labai neryškūs, pavyzdžiui vos $0,16^{\circ}\text{C}$ (39 pav.). Todėl visada būtina atlikti burnos ertmės termovizijos tyrimus (40 pav.).



39 pav. Žmogaus veido termograma



40 pav. Žmogaus burnos ertmės termograma

Apskaičiavus burnos ertmės atskirų pusių vidutinės temperatūras bei jas daugumoje atvejų pavyko identifikuoti patologinius pakitimus. Vienos pusės paciento burnos ertmės vidutinė temperatūra buvo daugiau nei $0,4^{\circ}\text{C}$ didesnė už kitą burnos ertmės pusę. Segmentuotas burnos ertmės vaizdas išryškina anomalią temperatūros vietą. Patologinė zona išryškėja tamsiai raudona spalva.

Apskaičiavus sveikų žmonių vidutinės veido bei burnos ertmės temperatūras, skirtumas tarp vienos ir kitos pusės labai neryškus, neviršijantis $0,4^{\circ}\text{C}$. Tai visiškai sveiko žmogaus temperatūros simetriškumo požymis.

Tyrimo rezultatų validumas patikrintas papildomai atliekant visų pacientų tyrimus kompiuteriniu tomografu (41 pav.). Atlikus KT vaizdų analizę, gydytojas-radiologas visus pacientus suskirstė į sveikų ir ligotų klases. Šie duomenys buvo panaudoti klasifikatoriaus tikslumo įvertinimui.



41 pav. KT vaizdas

Panaudojus kNN klasifikatorių, 21 paciento termovaizdas pagal klasifikavimo požymius buvo suskirstytas į dvi grupes: sveikų ir ligotų grupes. Klasifikatoriaus apmokymui į sveikųjų ir nesveikųjų klases pagal kompiuterinės tomografijos tyrimo rezultatus buvo atrinkta po du pacientus kiekvienai klasei reprezentuoti. Testavimo grupė papildyta 17 – lika pacientų, ir iš kiekvieno paciento termovaizdo apskaičiuotas veido (burnos ertmės) dešinės ir kairės pusės vidutinių temperatūrų skirtumas, skirtumas tarp veido (burnos ertmės) dešinės ir kairės didžiausių temperatūrų, taškų, kuriuose veido sritys (burnos ertmės) dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per $0,4^{\circ}\text{C}$ viršija kairės (dešinės) pusės maksimalią temperatūrą, skaičius. Pagal apskaičiuotus koreliacijos atstumus tarp apmokymui skirtų požymių vektorių reikšmių ir testuojamų požymių vektorių reikšmių kNN klasifikatorius pacientus suskirstė į sveikųjų ir sergančiųjų grupes. Palyginus gautus kNN klasifikatoriaus rezultatus su KT tyrimo rezultatais nustatyta, jog klasifikatorius 21 pacientų suskirstė net 90,4 % tikslumu, klasifikatoriaus specifiškumas yra 100%, jautrumas – 77,7%.

4 IŠVADOS

1. Termovizija yra neinvazinis metodas tinkantis žandikaulių srities navikinių bei dantų uždegiminių pakitimų ankstyvoje diagnostikoje. Atlikti tyrimai įrodė, kad termoviziniai vaizdai gali būti naudojami, kaip pakankamai informatyvus atrankinis diagnostinis metodas tolimesniems radiologiniams tyrimams (pvz. Kompiuterinei tomografijai) atlikti. Pagrindinis termovizijos taikymo pranašumas, palyginti su kitais metodais, yra žalos nedarantis tyrimas žmogaus sveikatai. Sukurta speciali pacientų veido ir burnos ertmės tyrimo termovizoriumi metodika atsižvelgiant į termovizorių panaudojimo specifiką. Nustatyta, kad tyrimui atlikti reikia pakankamai daug laiko paciento odos paviršiaus adaptacijai.
2. Sukurtas terminių vaizdų apdorojimo algoritmas, leidžiantis įvertinti vidutinius ir maksimalius veido ir burnos ertmės temperatūros dydžius. Atlikus tyrimus nustatyta, jog patologinėse zonose temperatūrinis skirtumas tarp simetriškų veido, burnos ertmės pusių svyravo $0,42^{\circ}\text{C}$ – $1,25^{\circ}\text{C}$ intervale. Sveikųjų pacientų temperatūrų skirtumas tarp atitinkamų veido arba burnos ertmės sričių neviršijo $0,4^{\circ}\text{C}$ ribos.
3. Nustatyti terminio vaizdo požymiai (veido srities dešinės ir kairės pusės vidutinių temperatūrų skirtumas, skirtumas tarp veido srities dešinės ir kairės didžiausių temperatūrų, taškų, kuriuose veido srities dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per $0,4^{\circ}\text{C}$ viršija kairės (dešinės) pusės maksimalią temperatūrą, skaičius, burnos ertmės dešinės ir kairės pusės vidutinių temperatūrų skirtumas, skirtumas tarp burnos ertmės dešinės ir kairės didžiausių temperatūrų, taškų, kuriuose burnos ertmės dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per $0,4^{\circ}\text{C}$ viršija kairės (dešinės) pusės maksimalią temperatūrą, skaičius), pagal kuriuos galima atskirti sveikus audinius nuo pažeistų. Atliekant sukurto žandikaulių srities navikinių pakitimų aptikimo metodo tyrimus su 21 pacientu, pagal pasirinktus požymius kNN klasifikatorius į sveikų ir sergančiųjų klases suskirstė 90,4% tikslumu. Klasifikatorius pasižymėjo 77,7% jautrumu bei 100% specifiškumu.
4. Termografinių vaizdų kokybė ir diagnostinė vertė priklauso nuo aplinkos temperatūros pokyčių, drėgnumo, oro cirkuliacijos, todėl atliekant tikslius ir pilnaverčius termografinius tyrimus buvo privalu kontroliuoti ir dinamiškai kompensuoti šiuos faktorius.
5. Nors termovaizdų kokybė naudojant šiuolaikines termokameras jau yra pakankamai gera ir perspektyvoje vis gerėja, reikalinga, kad vertinant juos būtų vienoda ar panaši termovaizdų raiška, temperatūrinė skalė, vertinančiųjų praktinė kompetencija, t.y. atitikti reglamentuotus reikalavimus.

5 LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. J. Didžiapetrienė. “Vėžio biologija”. Mokomoji knyga. Vilnius, 2013.
2. Sergamumas piktybiniais navikais. [Žiūrėta 2015.02.05]. Prieiga per internetą: <http://www.vlmedicina.lt>
3. Šiluminis kūno spinduliavimas. [Žiūrėta 2015.02.05]. Prieiga per internetą: <http://www.fotonas.su.lt/studdarbai/sviesa/svetaine/teorija/elektromagnetines%20bangos/2.3.htm>
4. Viskas apie termoviziją. Termoviziniai tyrimai. Termovizoriai. Termovizijos taikymas. [Žiūrėta 2014.09.05]. Prieiga per internetą: <http://www.termovizija.lt/?page=staticpage&id=2&pageId=2>
5. FLIR systems “Measurement in thermography“. By Claes Ohman M. Sc. EE. November 15, 2001.
6. M. Tkacova, R. Hudak, P. Foffova, J. Živčák. An important of camera – subject distance and angle in musculoskeletal applications of medical thermography. Technical University of Košice, 2010, 57-60.
7. Applications of Infrared Thermography for Detecting Body Temperature. LS Chan Department of Earth Sciences The University of Hong Kong.
8. A. Szentkuti, H. S. Kavanagh, S. Grazio. Infrared thermography and image analysis for biomedical use. Periodicum biologorum, Budapest, Hungary 2011
9. Lawson RN, Can Med Ass J 1956, 75:309-310
10. Technical Reference for Thermal Imagers for Human Temperature Screening 2, Implementation Guidelines TR15, Part 2, 2003, SPRING, Singapore.
11. M. Szwedlo, B. Tomaka, J. Targosz, K. Targosz, B. Jasiewicz. Infrared thermography as an objective technique for evaluation of patch tests. Krakow, Polanda
12. C. Herman. Emerging technologies for the detection of melanoma: achieving better outcomes. Department of Mechanical Engineering, Johns Hopkins University, Baltimore, MD, USA. Was published in the followinf Dove Press journal: Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology. 2012
13. J. Y. Park, J. K. Hyun, J. B. Seo. The effectiveness of digital infrared thermographic imaging in patients with shoulder impingement syndrome. Seoul and Cheonan, Korea 2007
14. R. Berz, H. Sauer. The medical use of infrared – thermography history and recent applications. Thermografie – Kolloquium 2007 – Vortrag 04.
15. B. B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jayakumar, J. Philip. Medical applications of infrared thermography: A review. Infrared Physics & Technology 55 (2012) 221 – 235.

16. Higher order spectra analysis of breast thermograms for the automated identification of breast cancer. U. Rahendra Acharya,^{1,2} E.Y.K. Ng,³ S. Vinitha Sree,³ Chua Kuang Chua¹ and Subhagata Chattopadhyay⁴. 2012 Blackwell Publishing Ltd
17. Mehrotra A., Aggarwal A. „Thermography: A Review“, *J of Dental Sciences & Oral Rehabilitation* 2013;
18. Uematsu S. Symmetry of skin temperature comparing one side of the body to the other. *Thermology* 1985;1:4-7
19. Gratt BM, Sickles EA. Electronic facial thermography: an analysis of symptomatic adult subjects. *J Orofacial Pain*. 1995;9:255-65.
20. R. C. Serrano, L. Motta, M. Batista, A. Conci; Using a new method in thermal images to diagnose early breast diseases. Computer Institute – Federal Fluminense University
21. Pogrel, M.A., Yen, C.K. and Taylor, R.C.: Infrared thermography in oral and maxillofacial surgery. *Oral Surg. Oral. Med. Oral Pathol*. 67:126-131, 1989
22. Hayase Y., Wakasa T., Uemura M., Adachi K., Ichi S., Kishi K. “Clinical Evaluation of Thermography in the Diagnosis of Malignant Tumors in the Oral and Maxillo-Facial Region“, *Oral Radiol*. 1992, Vol.8, No.1
23. Bojkovski J., Durdevic D. Diagnostic of Maxillofacial Pathology *XX IMEKO World Congress Metrology of Green Growth Busan, Republic of Korea* 2012 September 9-14
24. Durnovo E.A., Potekhina YU.P., Marochkina M.S., Khomutinnikova N.E., Yanova N.A. Features of Infrared Thermography in the Diagnosis of Complex Diseases of Maxillofacial Region. *Modern Problems of Science and Education* 2012;
25. Gratt BM, Graff-Radford SB, Shetty V, Solberg WK, Sickles EA. A six-year clinical assessment of electronic facial thermography *Dentomaxillofac Radiol*. 1996;25:247-55.
26. Feature Detectors - Sobel Edge Detector. [Žiūrėta 2014.10.25]. Prieiga per internetą: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/sobel.htm>
27. Shrivakshan G.T. A Comparison of various Edge Detection Techniques used in Image Processing // *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9, Issue 5, No 1, September 2012, -P. 272-276.
28. Ellipse - from Wolfram MathWorld. [Žiūrėta 2014.10.30]. Prieiga per internetą: <http://mathworld.wolfram.com/Ellipse.html>
29. Ellipse Fit - File Exchange - MATLAB Central. [Žiūrėta 2014.11.03]. Prieiga per internetą: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/22423-ellipse-fit>
30. Least Squares Fitting -- from Wolfram MathWorld. [Žiūrėta 2014.11.10]. Prieiga per internetą: <http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFitting.html>

31. A. Fitzgibbon, M. Pilu, R. B. Fisher. Direct Least Square Fitting of Ellipses. Tern analysis and machine intelligence, VOL. 21, NO. 5, MAY 1999
32. k-Nearest Neighbors. [Žiūrēta 2015.04.20]. Prieiga per internetą:
<http://www.statsoft.com/textbook/k-nearest-neighbors>

6 PRIEDAI

6.1 Darbo rezultatų lentelė

	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	O	P	R	T
1PAC	38.69	38.54	0.15	37.22	37.16	0.06	0	38.85	38.47	0.38	36.76	36.57	0.19	0	0	0
2PAC	37.11	37.25	0.14	33.09	33.37	0.28	0	31.85	31.43	0.42	34.99	33.72	1.27	146	1	1
3PAC	32.63	32.89	0.26	37.02	37.58	0.56	8	36.98	36.31	0.67	34.87	34.51	0.36	17	1	1
4PAC	38.11	38.54	0.43	34.84	33.79	1.05	3	35.08	34.56	0.52	32.22	31.95	0.27	15	1	1
5PAC	38.24	38.53	0.29	36.3	36.44	0.14	0	38.88	39.15	0.27	37.32	37.52	0.2	0	0	0
6PAC	37.2	37.26	0.06	35.71	35.42	0.29	0	37.58	37.72	0.14	35.33	35.3	0.03	0	0	0
7PAC	38.93	39.06	0.13	37.09	37	0.09	0	39.12	38.86	0.26	38.19	38.09	0.1	0	0	0
8PAC	38.36	38.27	0.09	35.93	36.01	0.08	0	39.6	39.71	0.11	38.04	38.24	0.2	0	0	0
9PAC	36.99	37.09	0.1	34.78	34.91	0.13	0	38.71	38.64	0.07	36.96	36.72	0.24	0	0	0
10PAC	39.53	39.43	0.1	37.63	37.68	0.05	0	38.39	39.37	0.98	35.73	37.25	1.52	33	1	1
11PAC	38.65	38.23	0.42	35.99	35.76	0.23	1	39.16	38.91	0.25	39.17	38.91	0.26	0	0	0
12PAC	38.11	38.05	0.06	36.07	36.02	0.05	0	39.46	39.57	0.11	37.33	37.46	0.13	0	0	0
13PAC	39.27	39.42	0.15	37.07	37.26	0.19	0	38.84	39.05	0.21	36.96	37.16	0.2	0	0	0
14PAC	39.44	39.38	0.06	36.96	37.21	0.25	0	39.8	40.2	0.4	38.28	38.74	0.46	0	0	1
15PAC	38.63	38.72	0.09	36.72	36.94	0.22	0	38.79	37.86	0.93	37.26	36.8	0.46	26	1	1
16PAC	36.23	36.45	0.22	33.55	34.42	0.87	0	38.33	38.97	0.64	37.29	37.84	0.55	225	1	1
17PAC	39.22	38.83	0.39	38.36	38.11	0.25	0	36.7	36.46	0.24	33.7	33.9	0.2	0	0	1
18PAC	37.88	37.82	0.06	35.88	35.84	0.04	0	36.12	35.01	1.11	32.94	32.83	0.11	125	1	1
19PAC	36.5	36.55	0.05	33.29	33.33	0.04	0	37.21	37.12	0.09	34.32	34.16	0.16	0	0	0
20PAC	36.88	37.11	0.23	34.23	34.46	0.23	0	37.99	38.24	0.25	36.23	36.39	0.16	0	0	0
21PAC	33.93	33.77	0.16	36.17	36.03	0.14	0	36.97	36.78	0.19	35.08	34.92	0.16	0	0	0

Lentelės žymėjimas:

A – Dešinės veido pusės didžiausia temperatūra;

B – Kairės veido pusės didžiausia temperatūra;

C – Veido srities didžiausių temperatūrų skirtumas;

D – Dešinės veido pusės vidutinė temperatūra;

E – Kairės veido pusės vidutinė temperatūra;

F – Veido srities vidutinių temperatūrų skirtumas;

G – Taškų, kuriuose veido srities dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per 0,4°C viršija kairės (dešinės) pusės didžiausią temperatūrą, skaičius.

H – Dešinės burnos ertmės pusės didžiausia temperatūra;

K – Kairės burnos ertmės pusės didžiausia temperatūra;

L – burnos ertmės didžiausių temperatūrų skirtumas;

M – Dešinės burnos ertmės pusės vidutinė temperatūra;

N – Kairės burnos ertmės pusės vidutinė temperatūra;

O – Burnos ertmės vidutinių temperatūrų skirtumas;

P – Taškų, kuriuose burnos ertmės dešinės (kairės) pusės temperatūra daugiau nei per 0,4°C viršija kairės (dešinės) pusės didžiausią temperatūrą, skaičius;

R – klasifikavimo rezultatas;

T – kompiuterinio tomografo rezultatas

6.2 Matlab kudas

```
clear all
close all

fprintf(1, '\n');

puzinas = input('Paciento pavarde:', 's');

fprintf(1, '\n');
format_image2 = 'mat';
image_name = puzinas;
ima_name = [image_name '.' format_image2];
Structura=load(ima_name);
f=fieldnames(Structura);
ima_names =['Structura.' f{1}];
I=eval(ima_names);

imagesc(I)
[hI,wI]=size(I);

%Ieskom konturu
se = strel('disk',3);
I2 = imerode(I,se);
[Ix Iy]=gradient(I2,2,2);
gradmag1 = sqrt(Ix.^2 + Iy.^2);

for i=1:wI
    for j=1:hI
        if gradmag1(j,i)<1
            gradmag1(j,i)=0;
        end
    end
end

[junk threshold] = edge(gradmag1, 'prewitt');
cv=edge(gradmag1, 'prewitt',1*threshold, 'vertical');
cv = bwareaopen(cv,20,8);
[h,w]=size(cv);
k=0;
for i=1:w
    for j=1:h
        if cv(j,i)>0
            k=k+1;
            x(k)=i;
            y(k)=j;
        end
    end
end
[KD,AA]=convhull(x,y);

xvd=x(KD(:));
yvd=y(KD(:));
polin=[xvd' yvd'];

scrsz = get(0, 'ScreenSize');
figure('Position',[1 scrsz(4) scrsz(3)/1.5 scrsz(4)])

imagesc(I)
```

```

hh=impoly(gca, polin);
xlabel('Ar priimtini veido konturai? Jei ne, redaguokite juos?')
position = wait(hh);

% Formuojam apdorojamu duomenu masyva
MaskeD=hh.createMask;
nPadetisD=hh.getPosition;

Analyze=I .*MaskeD-273.15;

k=0;
for i=1:w
    for j=1:h
        if Analyze(j,i)<0
            Analyze(j,i)=0;
        else
            k=k+1;
            AnalyzeH(k)=Analyze(j,i);
        end
    end
end

%Apskaiciuojam veido simetrijos asi

[Xc,Yc,A,B,Phi,P]=ellipsefit(nPadetisD(:,1),nPadetisD(:,2));
[virusus indx]=min(nPadetisD(:,2));
virusus=min(nPadetisD(:,2));
apacia=max(nPadetisD(:,2));
kaire=min(nPadetisD(:,1));
desine=max(nPadetisD(:,1));

kvidurys=Xc;
line([Xc Xc],[apacia virusus])

%Padalinam vaizda i dvi dalis
Analyzed=Analyze(:,1:fix(Xc));
AnalyzeK=Analyze(:,fix(Xc):w);

% Apskaiciuojam sriciu Min, Vidutine ir Max temperatūras

AverageTD=mean2(Analyzed(Analyzed~=0));
text(Xc-50,Yc, num2str(round(100*AverageTD)/100),'color',[0 0 0])
MaxTD=max(max(Analyzed(Analyzed~=0)));
text(Xc-30,Yc, num2str(round(100*MaxTD)/100),'color',[0 0 0])
MinTD=min(min(Analyzed(Analyzed~=0)));
text(Xc-70,Yc, num2str(round(100*MinTD)/100),'color',[0 0 0])

AverageTK=mean2(AnalyzeK(AnalyzeK~=0));
text(Xc+50,Yc, num2str(round(100*AverageTK)/100),'color',[0 0 0])
MaxTK=max(max(AnalyzeK(AnalyzeK~=0)));
text(Xc+70,Yc, num2str(round(100*MaxTK)/100),'color',[0 0 0])
MinTK=min(min(AnalyzeK(AnalyzeK~=0)));
text(Xc+30,Yc, num2str(round(100*MinTK)/100),'color',[0 0 0])

%Vaizdo segmentavimas dideliu temperatūru diapazone

figure(2)

```

```

contourf(Analyze, (AverageTD+AverageTK)/2:(MaxTD+MaxTK)/2, 'DisplayName', 'Analyze');figure(gcf)

%Vaizdo segmentavimas mazu temperaturu diapazone

figure(3)

contourf(Analyze, (MinTD+MinTK)/2:0.3:(AverageTD+AverageTK)/2, 'DisplayName', 'Analyze');figure(gcf)

% Pazeistos srities (jeigu tikslinga) iskyrimas is max vaizdo bei atvaizdavimas

MX=max(AnalyzeH);
for i=1:w
    for j=1:h
        if Analyze(j,i)<(fix(MX))
            Ct(j,i)=0;
        else
            Ct(j,i)=3;
        end
    end
end
AnalyzeR=I+Ct;

% Pazeistos srities (jeigu tikslinga) iskyrimas is max vaizdo bei atvaizdavimas

MX=max(AnalyzeH);
for i=1:w
    for j=1:h
        if Analyze(j,i)<(fix(MX))
            Ct1(j,i)=0;
        else
            Ct1(j,i)=3;
        end
    end
end
AnalyzeMax=I+Ct1;

% Pazeistos srities (jeigu tikslinga) iskyrimas is min vaizdo bei atvaizdavimas

MN=min(AnalyzeH);
for i=1:w
    for j=1:h
        if Analyze(j,i)<(round(MN))
            Ct2(j,i)=0;
        else
            Ct2(j,i)=3;
        end
    end
end
AnalyzeMin=I+Ct2;

hd=AnalyzeD(AnalyzeD>0);
hk=AnalyzeK(AnalyzeK>0);
maxd=max(hd);
mind=min(hd);

```

```

maxk=max(hk);
mink=min(hk);

%histogramos skaiciai
kiekisd=(maxd-mind)/0.01; %histogramos tikslumas (ilgis)
kiekisk=(maxk-mink)/0.01;

[histD,td]=hist(hd,kiekisd);
[histK,tk]=hist(hk,kiekisk);
[rr,rkK]=size(histK); %histogramos masyvo reiksmiu skaicius
[rr,rkD]=size(histD);

tikrasmaxD=td(rkD-fix(rkD*0.001));
tikrasmaxK=tk(rkK-fix(rkK*0.001));

%
if (tikrasmaxD-tikrasmaxK)>0
    nd=0;
    for i=fix(kiekisd):-1:1
        if (td(i)-tikrasmaxK)>0.4
            nd=nd+histD(i);
        end
    end
elseif (tikrasmaxK-tikrasmaxD)>0
    nk=0;
    for i=fix(kiekisk):-1:1
        if (tk(i)-tikrasmaxD)>0.4
            nk=nk+histK(i);
        end
    end
else
    nk=0;
    nd=0;
end

clear all
load mokymas
load pacientas14
training(1,:)=sveiki;
training(2,:)=ligoti;

%klases
klases=[0 1]; % 0-sveiki,1- ligoti
knn=knnclassify(pacientas14,training,klases,2, 'correlation' )

```


6.3 Mokslinės publikacijos darbo tema

- R. Adaškevičius, V. Krasnickaitė, D. Mačianskytė. Application of thermal imaging for early diagnostic of maxillofacial pathology. Biomedical engineering - 2014 : proceedings of 18th international conference, Kaunas University of Technology, 27-28 November, 2014 / Kaunas University of Technology Biomedical Engineering Institute p. 144 – 147.

6.4 Sertifikatai



43 pav. Sertifikatas, liudijantis apie dalyvavimą tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „*Biomedical Engineering 2014*“