

Měření teploty

Erik Staffa

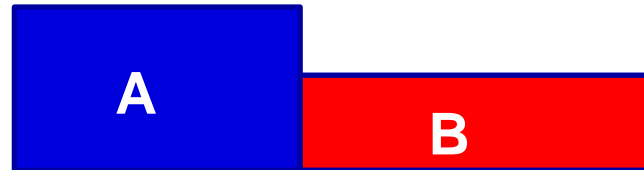
Biofyzikální ústav LF MU

TEPLO VS. TEPLOTA

Teplota je stavová veličina, která charakterizuje stav termodynamické rovnováhy uvažované soustavy (tělesa)

Změna teploty je způsobena přenosem energie (**tepla**) mezi systémem a okolím, kdy dochází ke změně i vnitřní energie.

Tepelná rovnováha



a) Mezi tělesy neprobíhá tepelná výměna, $Q_A = Q_B$
Tělesa jsou ve vzájemné tepelné rovnováze, mají stejnou teplotu.

b) Probíhá tepelná výměna – tělesa mají různou teplotu
větší nebo menší teplota podle změny ΔU

výsledná teplota soustavy po nastolení rovnovážného stavu

HISTORICKÉ SOUVISLOSTI

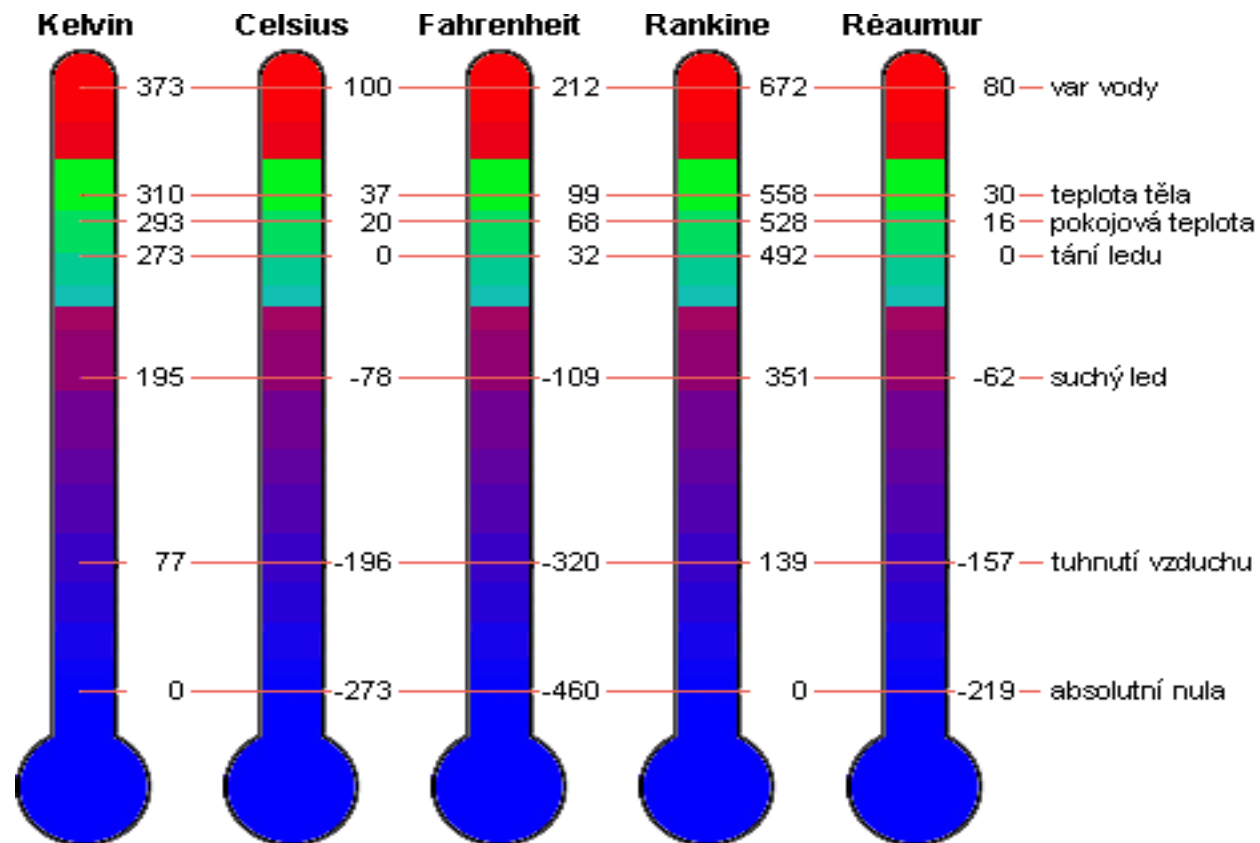
- 1592(5)- první teploměr- termoskop-G.Galilei (teplotní roztažnost vzduchu)
- 1631 - kapalinový teploměr francouzský Lékař J. Rey
- 1641 - lihový teploměr
- 1650 - první normalizovaná stupnice
- 1724 - D.G. Fahrenheit - rtuťový teploměr s první teplotní stupnicí
- 1742 - A. Celsius zavádí Celsiovu stupnici
- 1848 - W.Kelvin zavedl termodynamickou stupnici
- 1866 - první lékařský teploměr (Thomas Clifford Allbut)



Teplotní stupnice

- * Kelvinova → 0K, absolutní nula
- * Celsiova → $y \text{ } ^\circ\text{C} = x \text{ K} + 273,15$
- * Fahrenheitova → $y \text{ } ^\circ\text{F} = x \text{ } 9/5 \text{ } ^\circ\text{C} + 32$

- * Reamurova
- * Rankinova
- * Newton
- * Romerova
- * Delislova



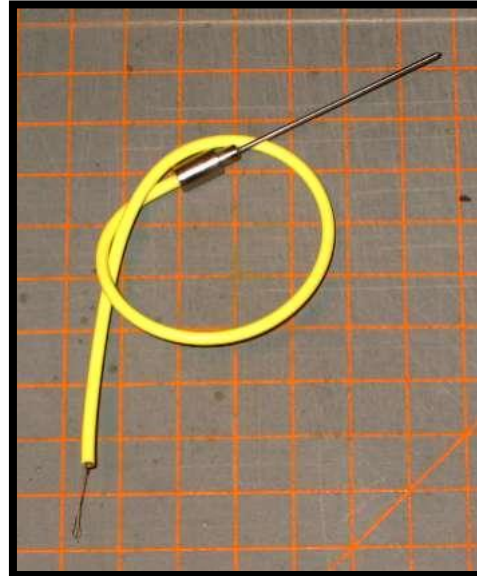
Způsob měření teploty

Zprostředkovaně za pomoci teplotních čidel

- odporová
- termoelektrická
- polovodičová
- emisivní - radiační
- krystalová

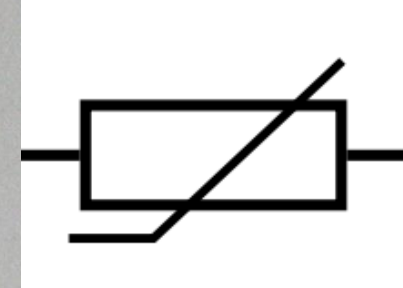
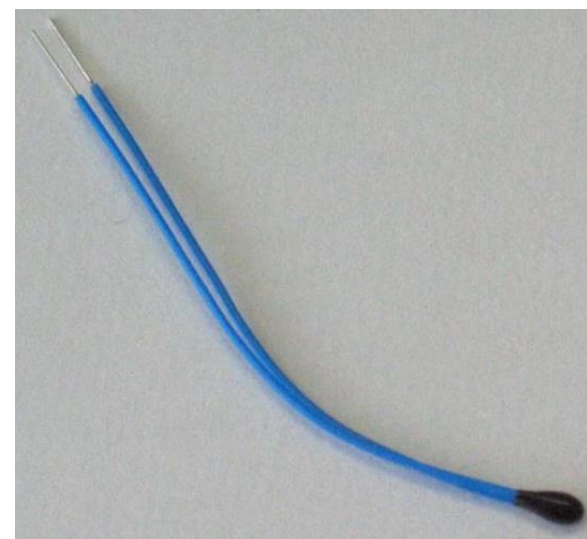
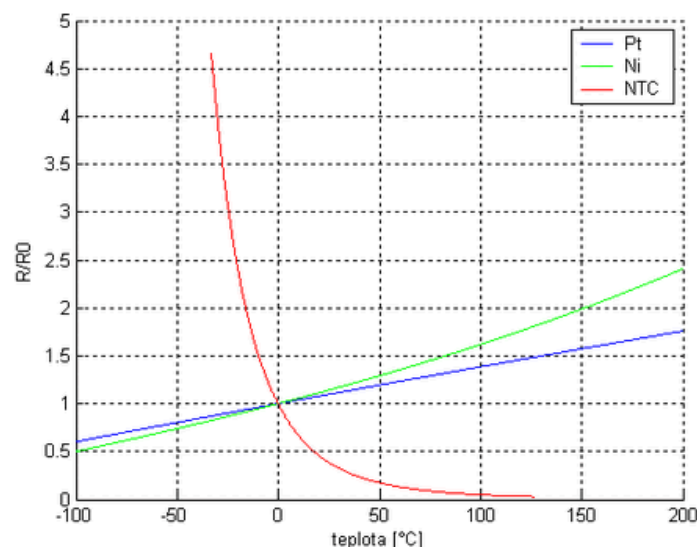
Další dělení

- dotykové
- bezdotykové



ODPOROVÉ SNÍMAČE - TERMISTOR

- Čidlem a tedy převodníkem teploty je (elektrický) odpor
- Elektrický odpor je závislý na teplotě (pro převod musíme znát VA charakteristiku – není lineární).
- Materiály měrného odporu: Mn, Pt, Ni, Cr, Cu nebo slitiny Rh-Fe, PtRh-Fe, CrNi.



Teplotní závislost odporových senzorů teploty

Termoelektrické snímače

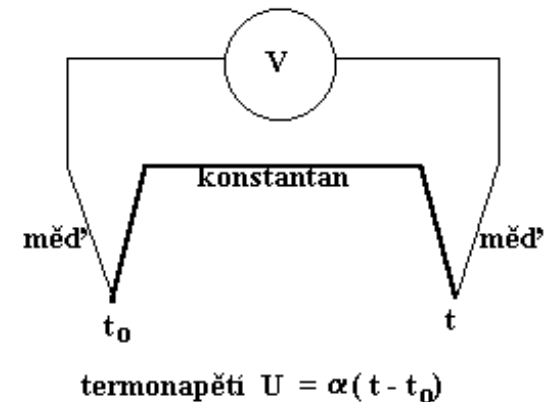
- Pracují na principu vzniku **termoelektrického napětí** v místě (bodě) spojení (svaru) dvou vhodných materiálů s rozdílným **termoelektrickým potenciálem**.
- Vlastnostmi použitých kovů je pak dán i pracovní rozsah měřených teplot.
- **Seebeckův jev** - převod tepelné energie na elektrickou.

V teplejší části vodiče mají nositelé náboje větší energii a difundují do chladnějších míst ve větším množství než nositelé z chladnějších míst

- Termočlánky jsou složeny (spojené svařením, pájením) vždy ze dvou kovů různého materiálu. V uzavřeném obvodu protéká proud pouze tehdy, pokud mají spoje různou teplotu. Při rozpojení obvodu můžeme naměřit napětí, které bude závislé na rozdílu teplot na spojích

Používají se pro rozsah teplot od -50 až do + 650°C

$$U = a \cdot (t_2 - t_1)$$





KONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLoty V LÉKAŘSTVÍ

LÉKAŘSKÝ TEPLOMĚR MAXIMÁLNÍ (DILATAČNÍ)

- **rtuťový**- kapilára je nad rezervoárem zúžená a po dosažení maximální teploty se přetrhne vlivem kapilárních sil a ukazuje max. dosaženou teplotu, nevýhodou je dlouhá časová konstanta - 3-5 min a nutnost sklepaní. **Nyní se používá kapalina na bázi Ga, In, Sn a Sb.**



LÉKAŘSKÝ TEPLOMĚR RYCHLOBĚŽNÝ (DILATAČNÍ)

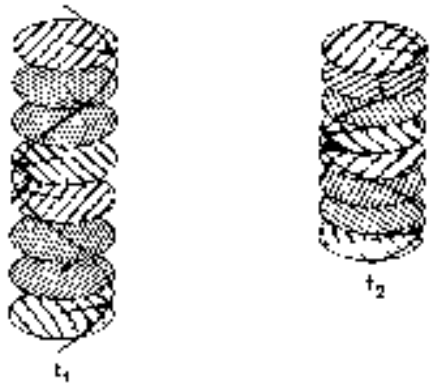
- **lihový** - kapilára není zaškrncena, teplotu je nutno odečíst během měření , časová konstanta - do 1 min.

TEPLOMĚR DIGITÁLNÍ

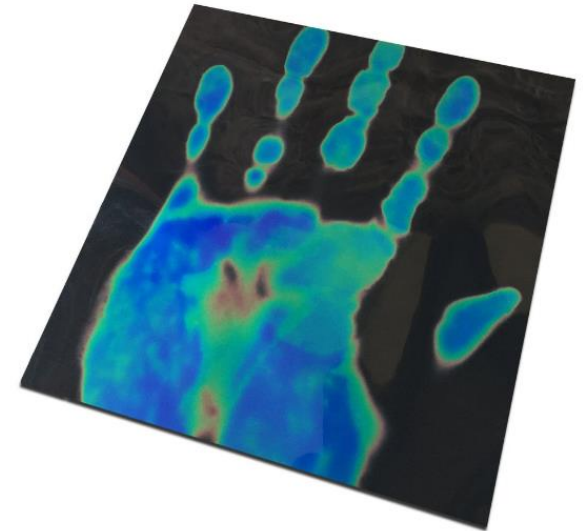
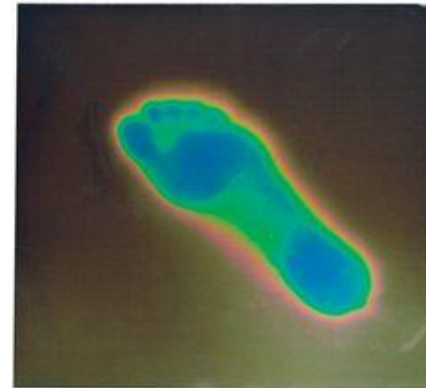


KAPALNÉ KRYSTALY

- Citlivost – okolo 0,1 °C
- Výchozí teplota – teplota, při níž začíná změna barvy
- Teplotní interval – 25 - 42 °C
- Prostorové rozlišení - množství rozeznatelných barev
- Tepelná setrvačnost – doba setrvání barvy po změně teploty

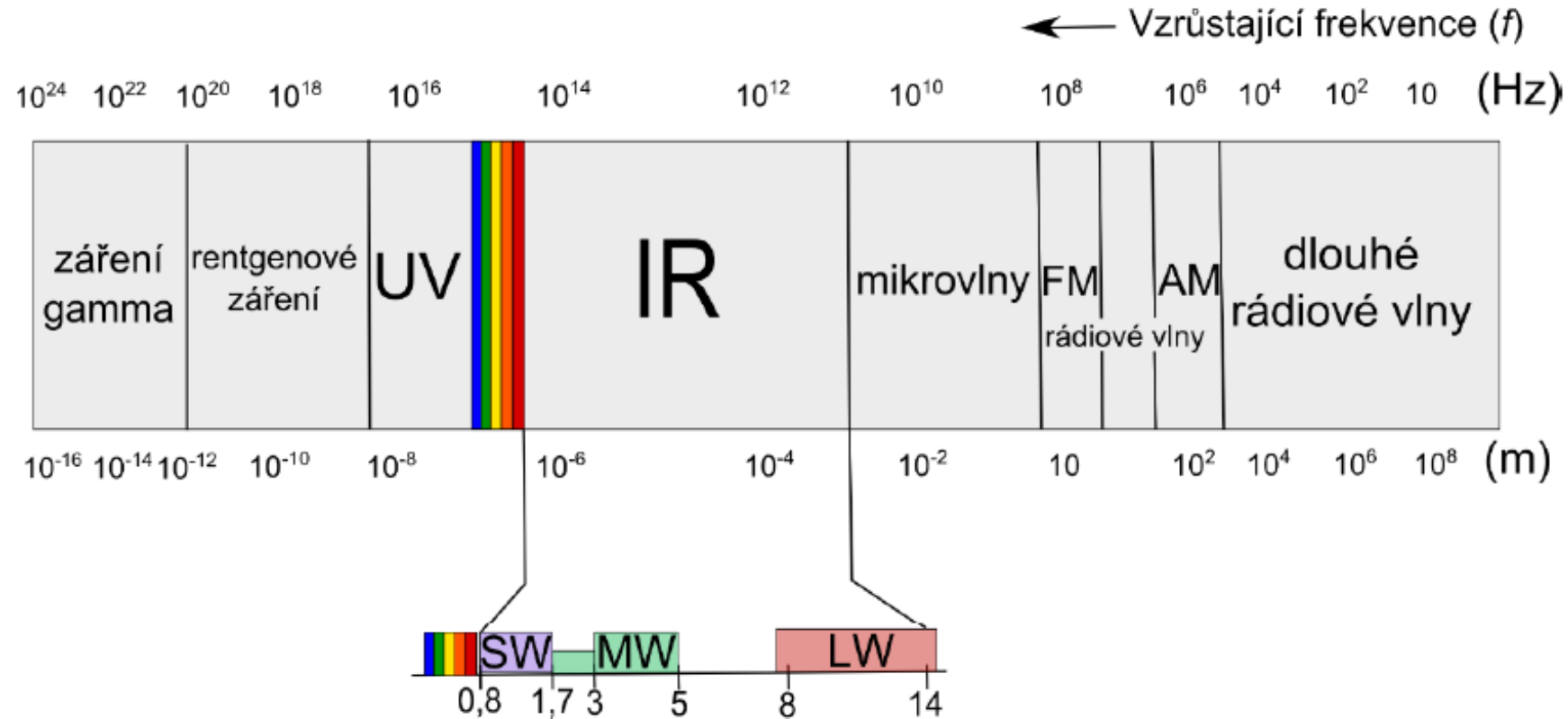


$t_1 < t_2$



Bezkontaktní termografické metody

Elektromagnetické spektrum



Název	Zkratka z angl.	Vlnová délka [μ m]
Krátké IR	SWIR	0,9–2,5
Střední IR	MWIR	2–5
Dlouhé IR	LWIR	7–14

- IR-A (760 nm – 1,4 μ m)
- IR-B (1,4 – 3 μ m)
- IR-C (3 – 1000 μ m)

Zdroje infračerveného záření

- 760 nm – 1mm
- Ve vakuu se šíří rychlostí světla a platí pro něj stejné zákony jako pro viditelné světlo (lom a odraz, interference,...)
- infračervené záření může generovat hmota s teplotou vyšší než je absolutní nula (0K)
- velikost zářivého toku generovaného tepelným zdrojem, spektrální složení a směr šíření závisejí na vlastnostech a teplotě zdroje.
(zvýšení teploty = vzrůst energie zářivého toku, kratší vlnové délky)
- infračervená radiace je proud fotonů

Energie fotonu

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{1,986 \cdot 10^{-19}}{\lambda}$$

E..... energie fotonu[J]

h..... Planckova konstanta[J·s]

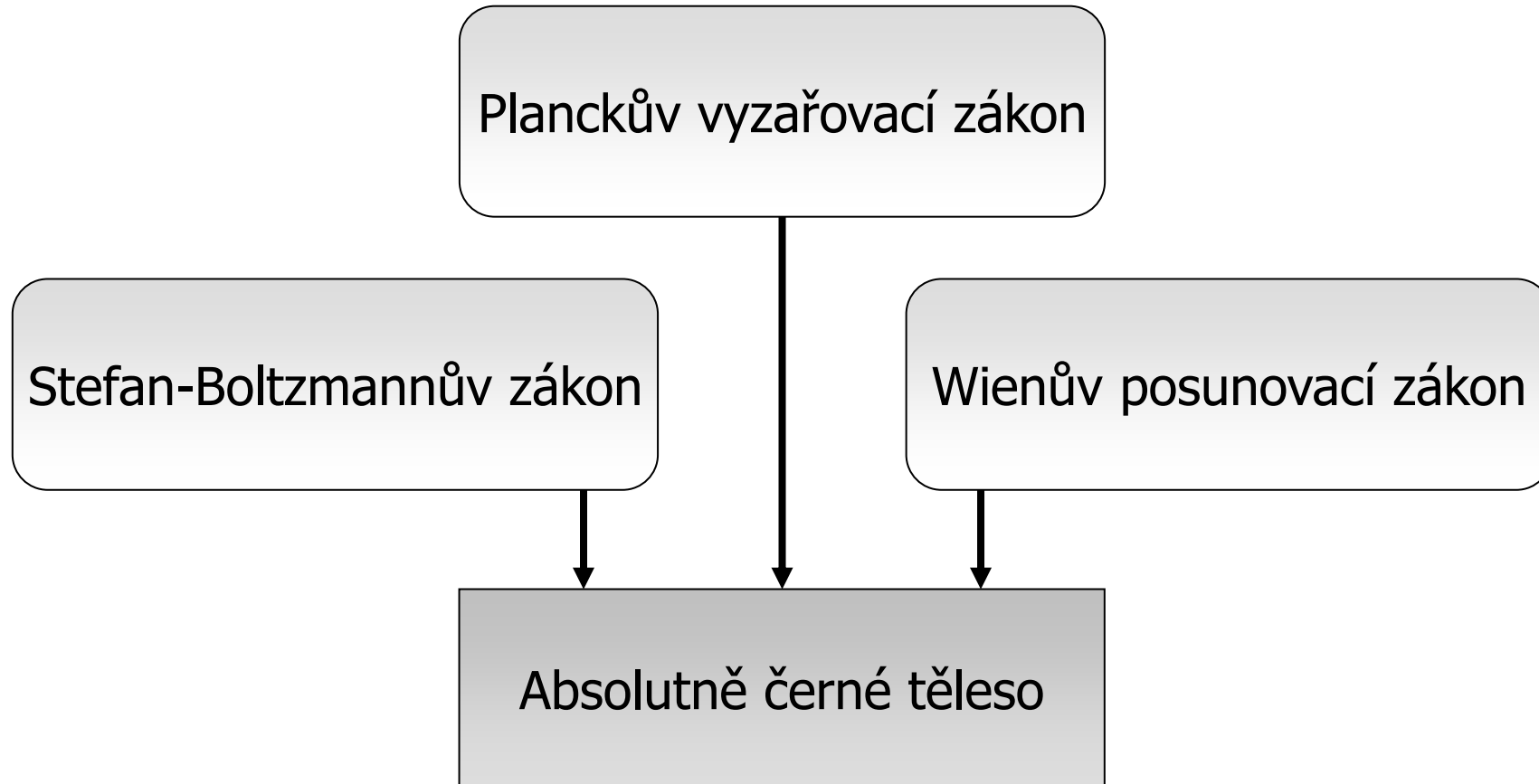
f..... frekvence[s⁻¹]

c..... rychlost světla[m·s⁻¹]

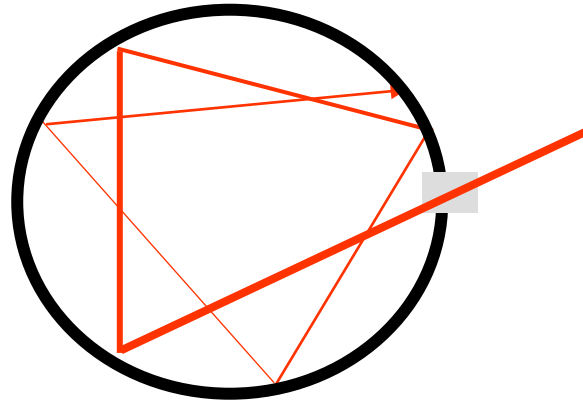
λ..... vlnová délka[μm]

- pro tepelné zářiče v jeho zorném poli je reprezentován tokem fotonů v infračervené části spektra.

Základní zákony vyzařování



Absolutně černé těleso

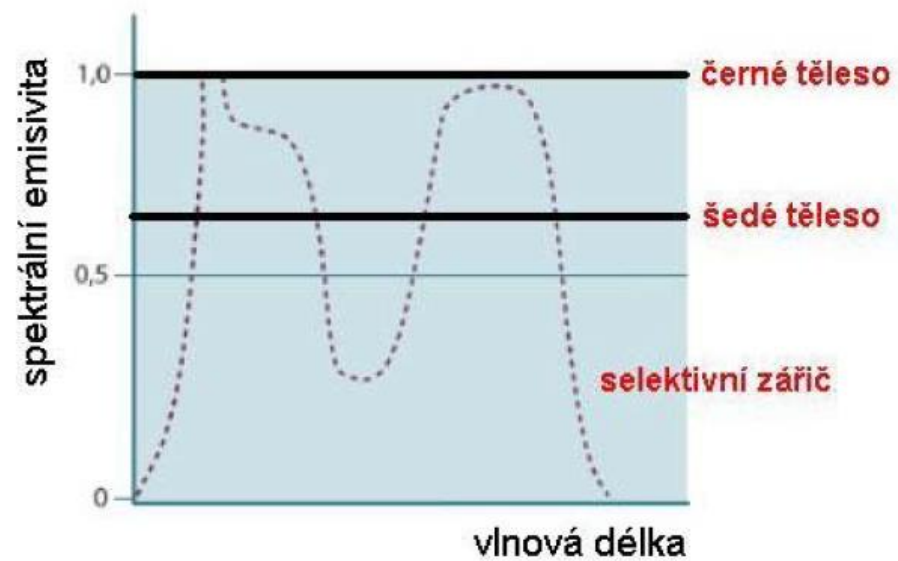
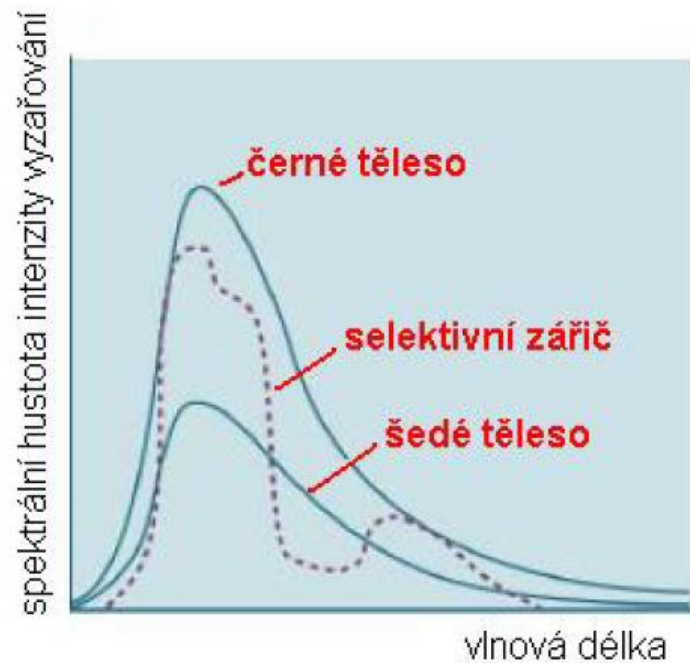


Proud fotonů

- pohlcování záření a vyzařování absolutně černého tělesa je vysvětleno [Kirchhoffovým zákonem](#) (podle *Gustava Roberta Kirchhoffa*, 1824–1887)



Černé těleso



Kirchhoffův zákon

Koeficienty popisující vlastnosti těles ozářených radiačním tokem:

Koeficient pohltivosti (absorpce) – α

Koeficient odrazivosti (reflexe) – ρ

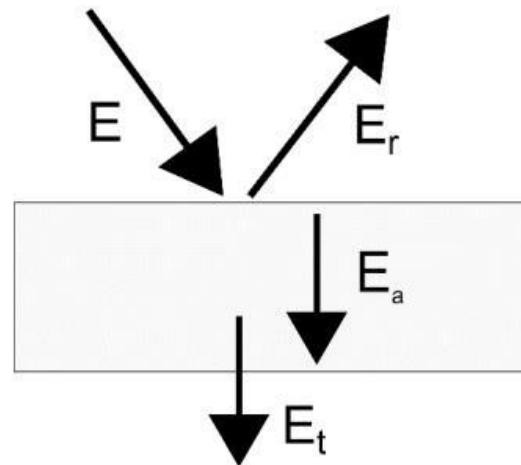
Koeficient propustnosti (transmise) – τ

$$1 = \alpha + \tau + \rho$$

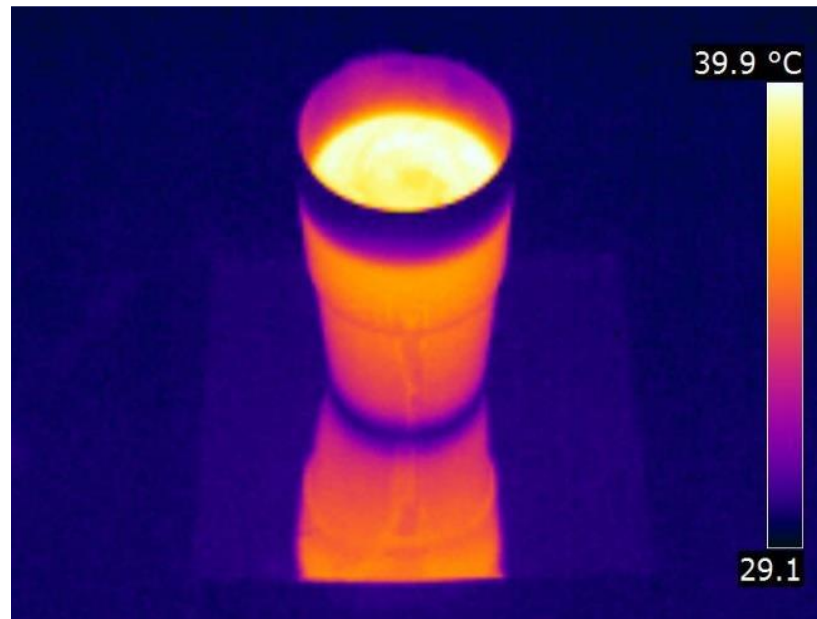
$$\alpha = \Phi_{\text{pohlčený}} / \Phi$$

$$\tau = \Phi_{\text{prošlý}} / \Phi$$

$$\rho = \Phi_{\text{odražený}} / \Phi$$



- ideální těleso, které pohlcuje veškerou radiaci na něj dopadající, bez ohledu na vlnovou délku a úhel, pod kterým na těleso dopadá
- pokud je AČT zdrojem radiace je ideální absorber i emiter radiace
- vyzařuje na všech vlnových délkách při dané teplotě maximální dosažitelnou energii zářivého toku
- Pro infračervené záření platí zákony vlnové optiky (odraz, lom,..)



Planckův vyzařovací zákon

Max Planck (1858–1947)



Planckův vyzařovací zákon

- základní zákon tepelného vyzařování AČT
- **Záření o frekvenci f může být vyzařováno, nebo pohlcováno jen po kvantech energie o velikosti $e = h \cdot f$.**

$$L_{e,\lambda}(T) = \frac{\frac{C_1}{\lambda^5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} [W \cdot sr^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1}]$$
$$C_1 = 2hc^2, \quad C_2 = \frac{ch}{k_B}$$

L..... spektrální měrná zářivost

h..... Planckova konstanta $6,6256 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$

k_B Boltzmannova konstanta $1,3807 \cdot 10^{-23} [J \cdot K^{-1}]$

c..... rychlost světla $2,9979 \cdot 10^8 [m \cdot s^{-1}]$

C_1 1. vyzařovací konstanta $1,191 \cdot 10^{-16} [W \cdot m^2]$

C_2 2. vyzařovací konstanta $1,4388 \cdot 10^{-2} [K \cdot m]$

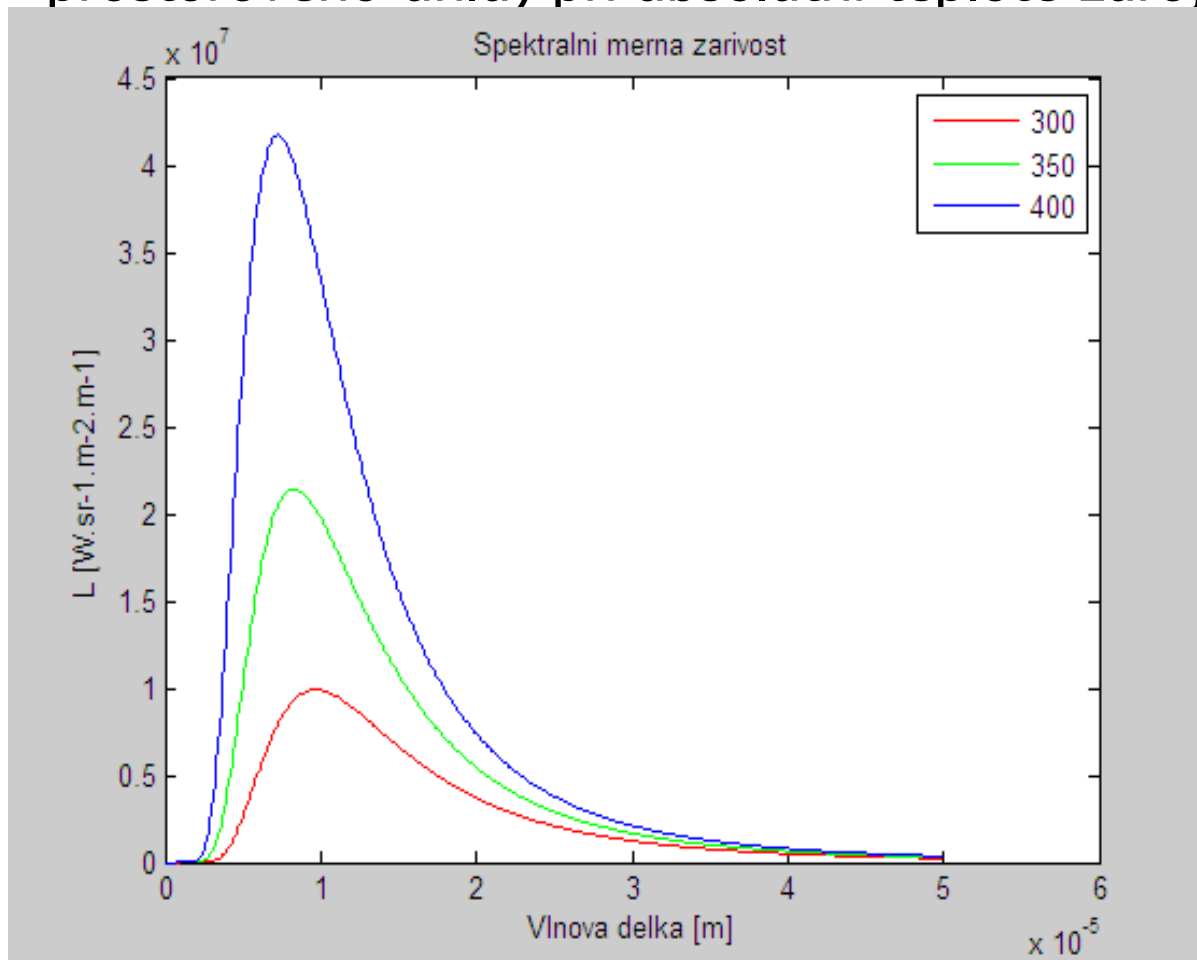
Planckův vyzařovací zákon

- spektrální měrná zářivost L (výkon generovaný z jednotky plochy povrchu zdroje na dané vlnové délce do jednotkového prostorového úhlu) při absolutní teplotě zdroje T [K] v energetickém tvaru
- Spektrální intenzita vyzařování absolutně černého tělesa M v energetickém tvaru:

$$M_{e,\lambda}(\lambda, T) = \pi \cdot L_{e,\lambda}(\lambda, T) [W \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1}]$$

Planckův vyzařovací zákon

spektrální měrná zářivost L (výkon generovaný z jednotky plochy povrchu zdroje na dané vlnové délce do jednotkového prostorového úhlu) při absolutní teplotě zdroje T [K] v



- V grafu jsou vidět křivky spektrální měrné zářivosti $[\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{m}^{-1}]$ pro 3 různé teploty [K]. (300, 350 a 400K)

Stefan-Boltzmanův zákon



Jozef Stefan
(1835-1893)



Ludwig Boltzmann
(1844-1906)

Stefan-Boltzmannův zákon

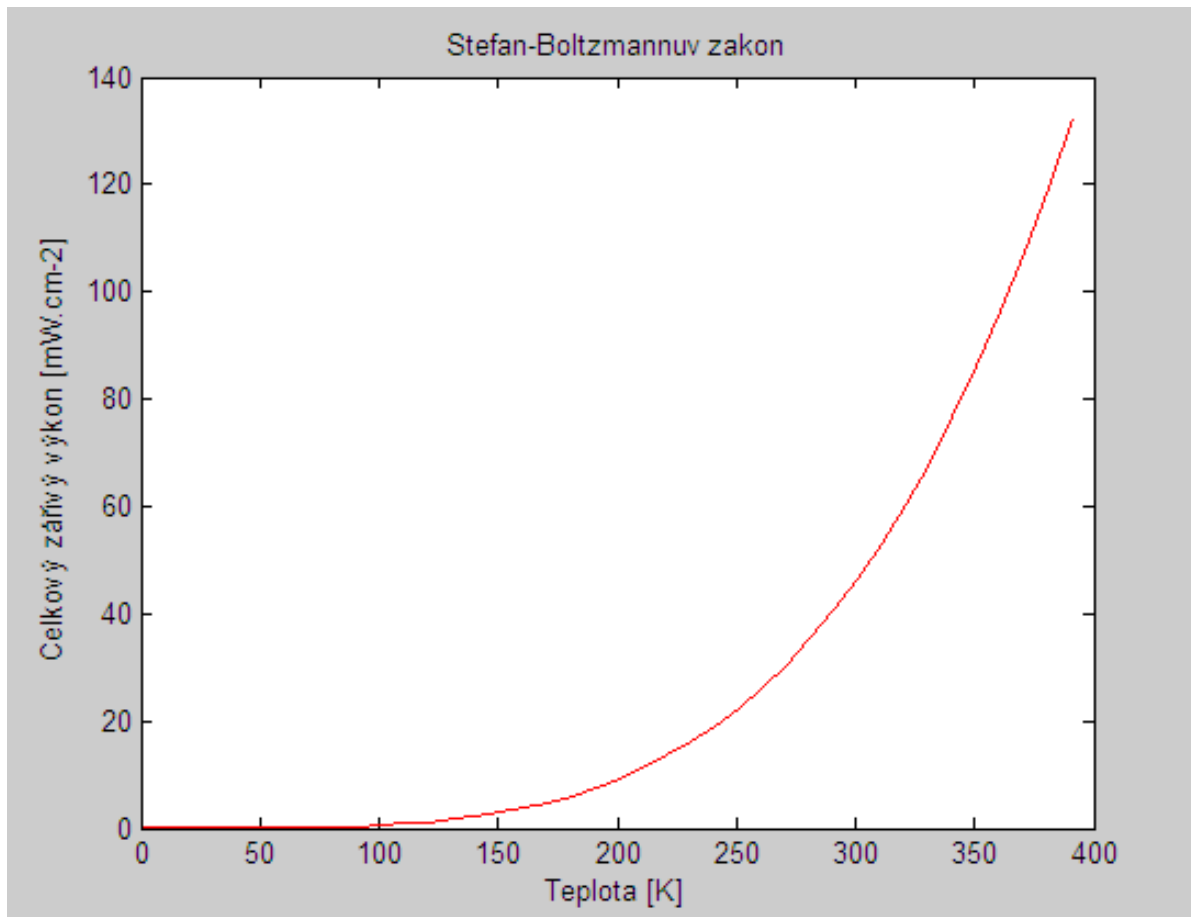
- Vyjadřuje intenzitu vyzařování AČT.
- **Výsledná intenzita vyzařování černého tělesa je úměrná čtvrté mocnině jeho absolutní teploty (T):**

$$M_e(T) = \sigma_e T^4 [W \cdot cm^{-2}]$$

- $\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
- Lze vyjádřit integrací [Planckova vyzařovacího zákona](#):

$$M_e(T) = \int_0^{\infty} M_{e,\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma_e T^4 [W \cdot cm^{-2}]$$

Stefan-Boltzmannův zákon



- Závislost celkového zářivého výkonu [$\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$] na teplotě [K].

Wienův posunovací zákon

Wilhelm Wien (1864-1928)



Wienův posunovací zákon

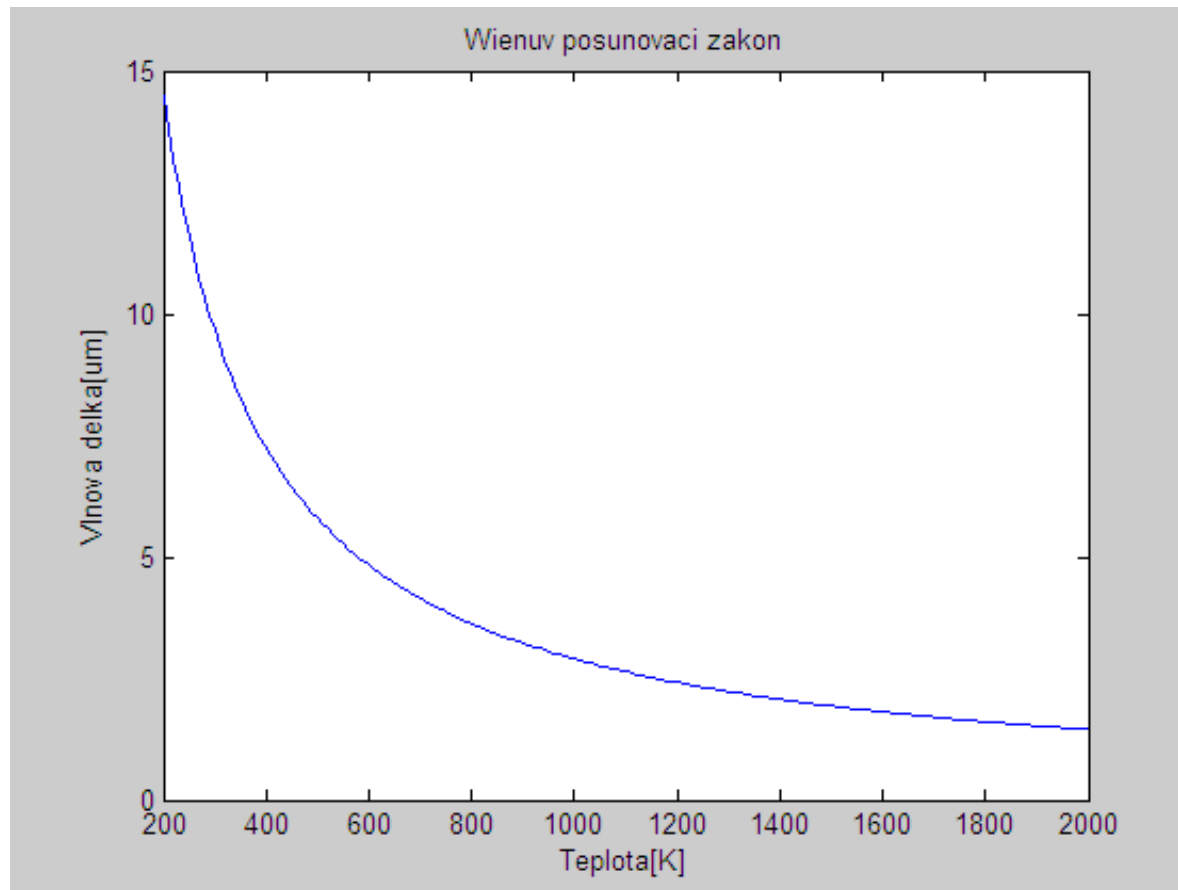
- maximum spektrální intenzity vyzařování se mění v závislosti na teplotě, odpovídající vlnovou délku lze stanovit vyhledáním lokálního extrému odpovídajících funkcí

$$\frac{\partial M_{e,\lambda}(\lambda, T)}{\partial \lambda} = 0 \Rightarrow \lambda_{\max} \cdot T = 2898[\mu\text{m} \cdot \text{K}]$$

- z toho vyplývá, že čím je těleso teplejší, tím vyzařuje na kratších vlnových délkách a tedy na vyšších frekvencích

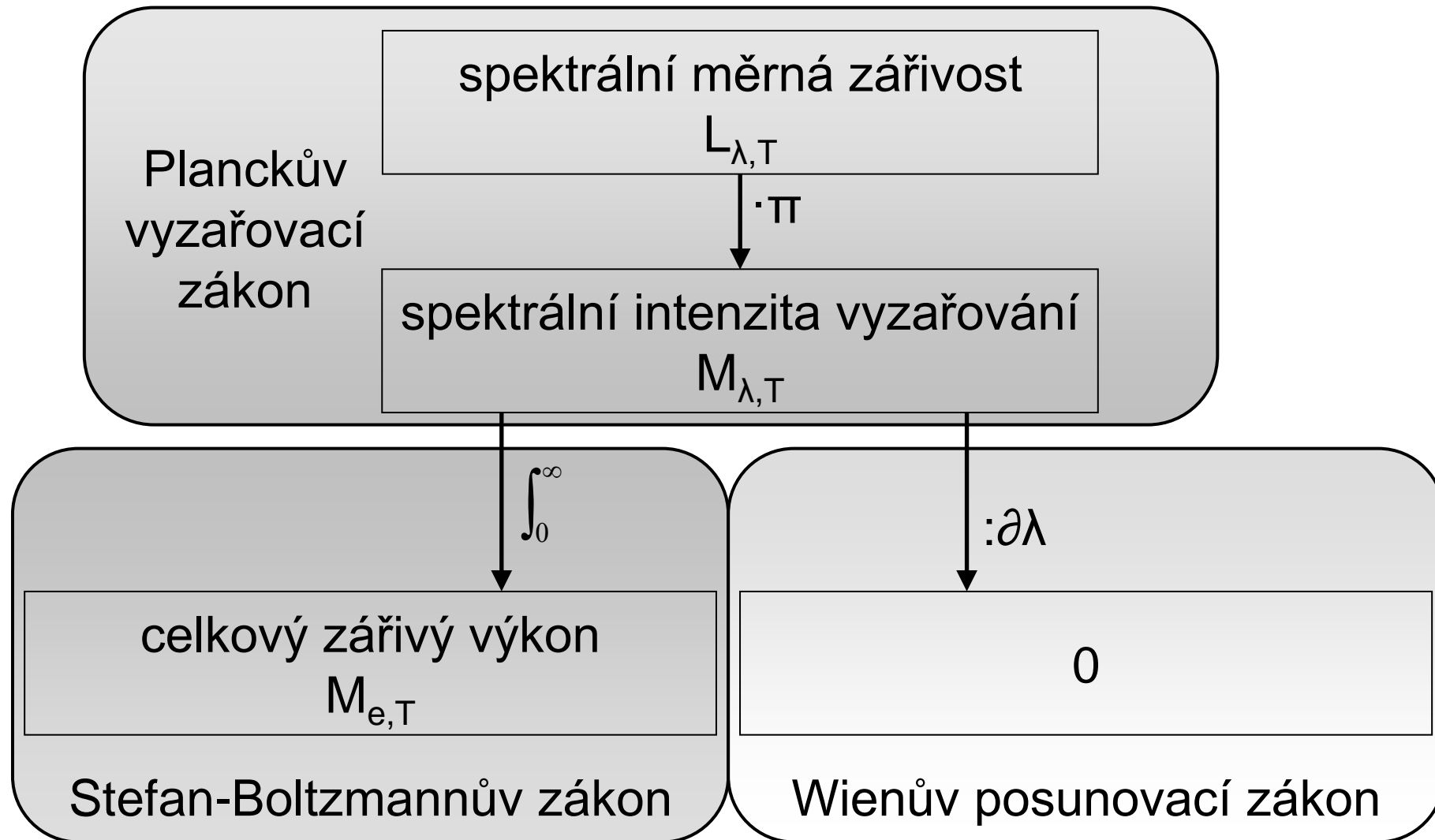
To znamená, že např. člověk při běžné teplotě 37°C , která odpovídá termodynamické teplotě 310K , vyzařuje elektromagnetické záření s vlnovou délkou $\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{310} \text{ m} = 9,35 \mu\text{m}$. A to odpovídá (jak se dalo předpokládat) tepelnému záření.

Wienův posunovací zákon

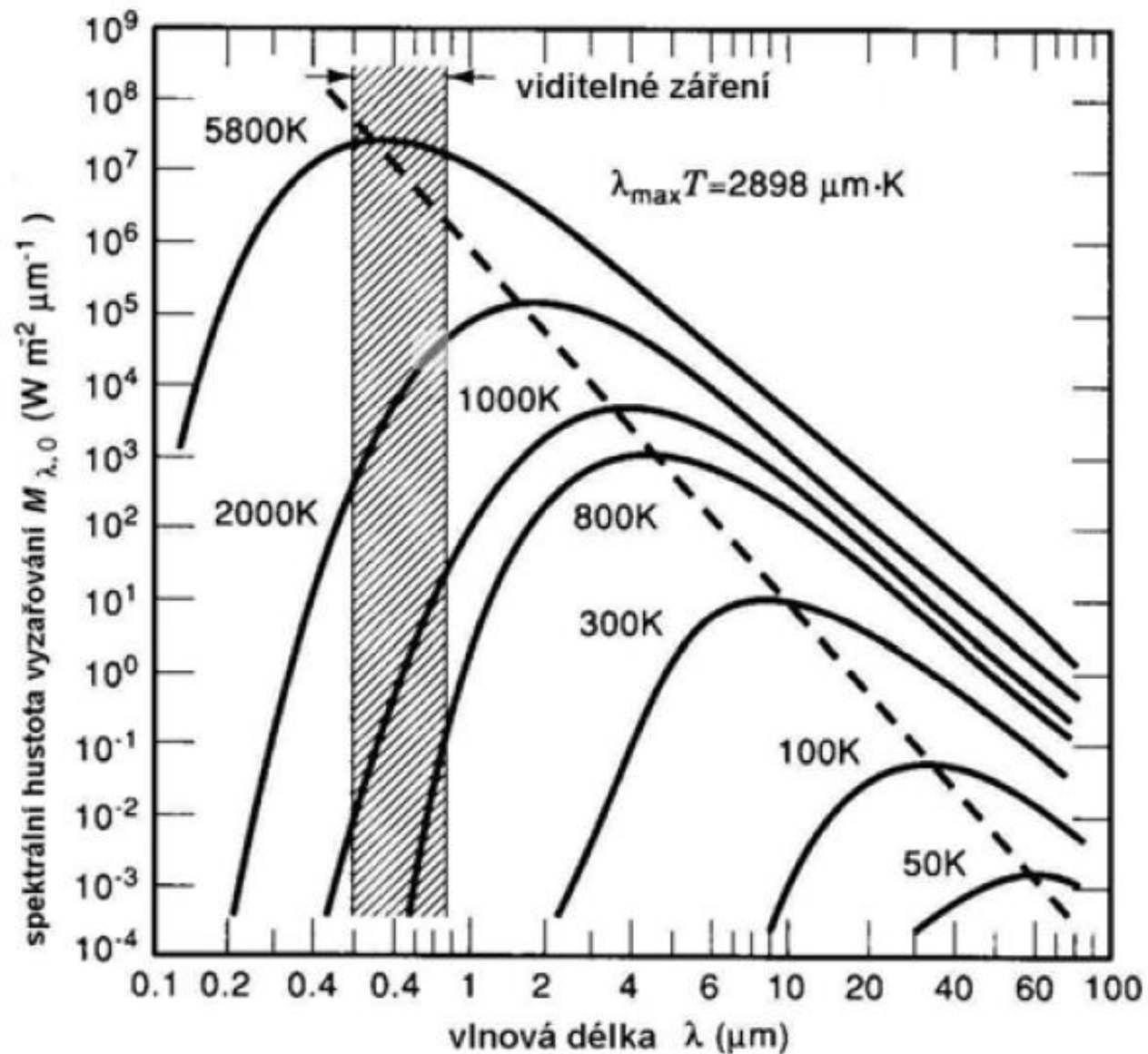


- Závislost vlnové délky [μm] na teplotě [K].

Vztahy mezi jednotlivými zákony



Ještě jednou názorně...



on

Emisivita - ε

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{M_{e,\lambda}(\lambda, T)_{\text{zdroje}}}{M_{e,\lambda}(\lambda, T)_{\text{AČT}}}$$

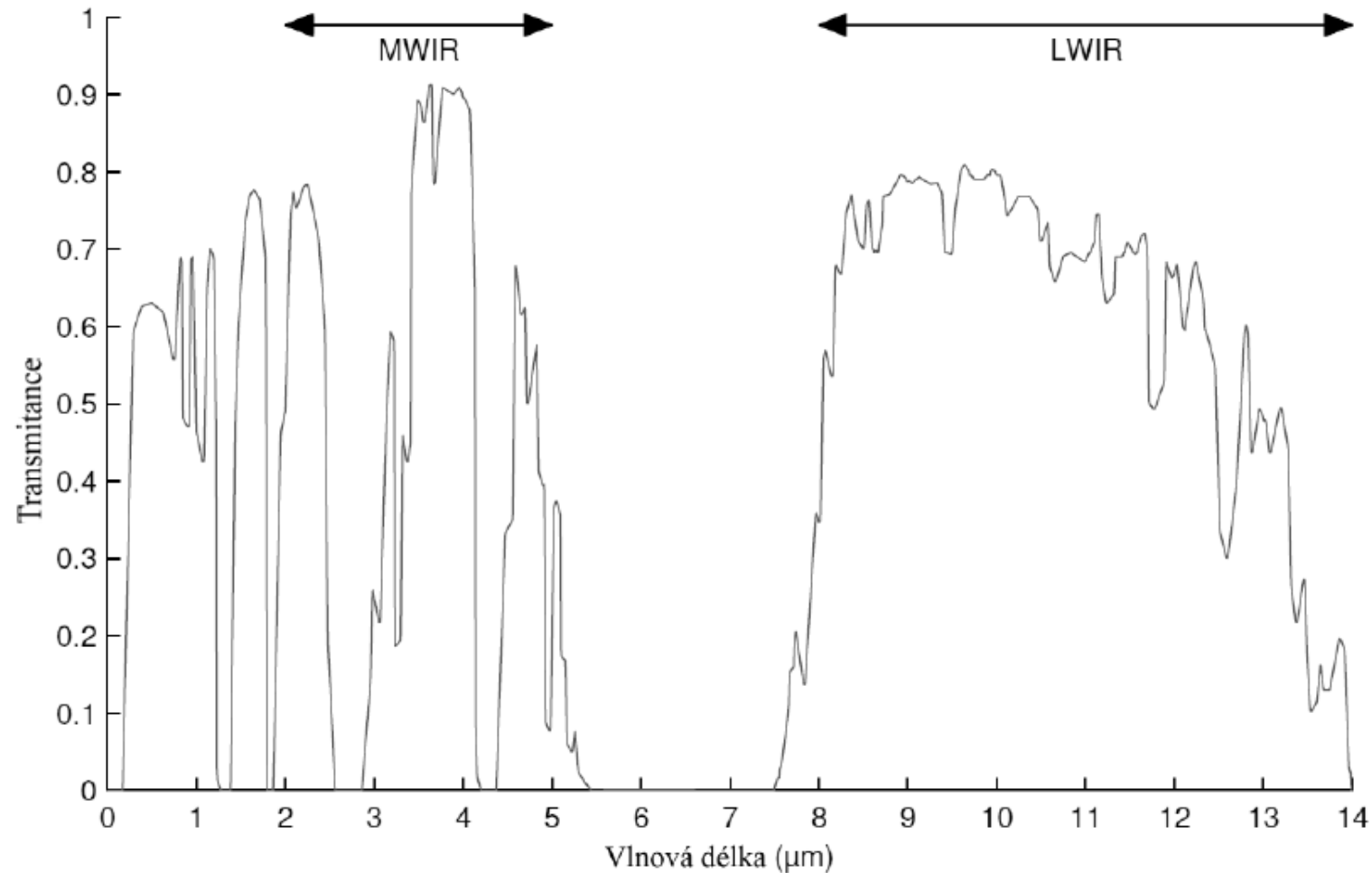
- vyjadřuje zhoršení vyzařovacích vlastností zdroje ve srovnání s absolutně černým tělesem
- koeficient emisivity nabývá hodnot 0 až 1.
- koeficient emisivity je závislý na:
 - typu materiálu zdroje
 - vlastnostech povrchu zdroje
 - vlnové délce
 - teplotě materiálu
 - směru vyzařování

Koeficient emisivity

materiál	teplota v °C	spektrum	emisivita
kůže lidská	32	T	0,98
dřevo	17	SW	0,98
voda destilovaná	20	T	0,96
cihla (červená, hrubá)	20	T	0,88–0,93
papír bílý	20	T	0,7–0,9
voda sníh	–10	T	0,85
titan leštěný	1000	T	0,36
stříbro leštěné	100	T	0,03

Detekce infračerveného záření

spektrum infračerveného záření závisí od teploty vyzařujícího tělesa a jeho okolí – rozsah jednotlivých zařízení



Pyrometr



Termokamera



MEDICAS

SCREENING INFEKČNÍCH CHOROB TERMOKAMEROU

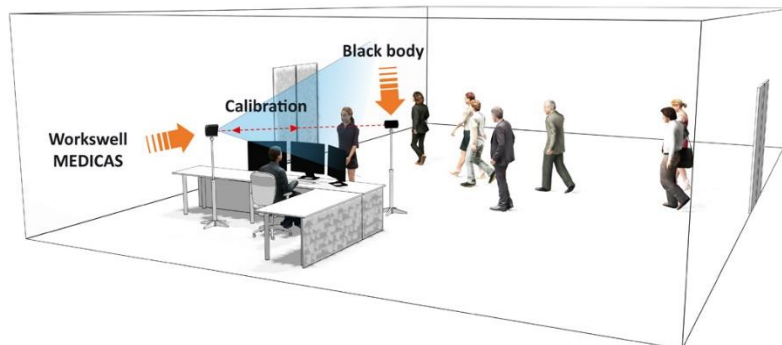
Společnost Workswell reaguje na vysoké riziko globálního šíření infekčních chorob (aktuálně ve spojení s **corona virem**) a investovala prostředky na vybudování termovizního **plug & play systému** s názvem Workswell **MEDICAS**.

Systém disponuje **vysokou přesností měření teploty** (ta je zajištěna kontinuální recalibrací s pomocí **černého tělesa**, které je součástí systému) a také **teplotní citlivostí 30mK**. K termokameře stačí připojit monitor a klávesnici a vše je připravené k použití.

-  **DETEKCE HOREČKY**
-  **MĚŘENÍ TEPLoty**
-  **TERMÁLNÍ A RGB KAMERA**
-  **VYSOKÉ ROZLIŠENÍ**
-  **MOBILNÍ A PŘENOSNÉ**
-  **REALTIME ANALÝZA**



Rozlišení termokamery	640 x 512 pixelů
Teplotní rozsah	0 °C to +50 °C, termokamera je specificky kalibrována pro měření tělesné teploty
Teplotní citlivost	0.03 °C (30 mK)
Nejistota měřicího přístroje	± 0.3 °C (snížení ze standardní hodnoty ± 2 °C díky použití černého tělesa pro kontinuální re-kalibraci)
Detektor a jeho spektrální rozsah	7.5 – 13.5 μm / nechlazený VOx mikrobolometr
Černé těleso pro re-kalibraci	Kontinuální recalibrace termokamery pomocí černého tělesa každých 5 sekund
Objektiv	45°

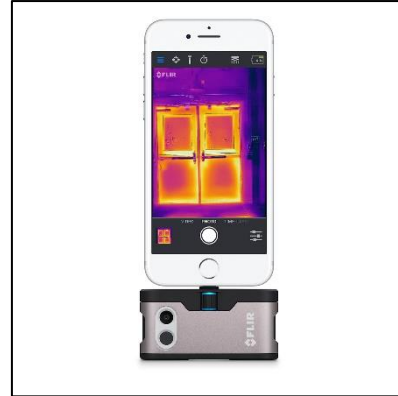


Vybavení pro měření IR na Biofyzikálnímu ústavu LF MU, Brno

Fluke Ti30



FLIR ONE gen 2



Seek Thermal



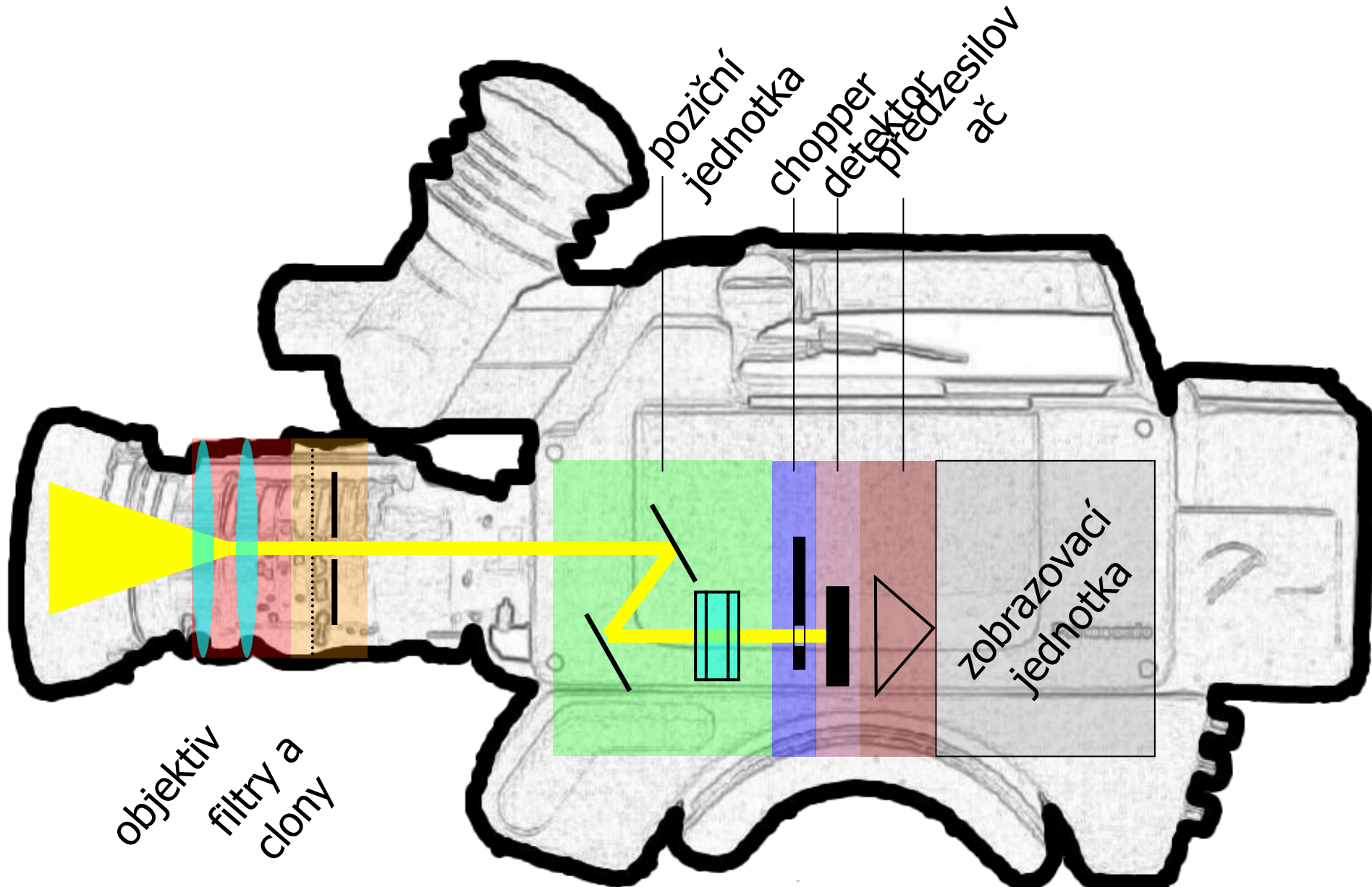
FLIR B200



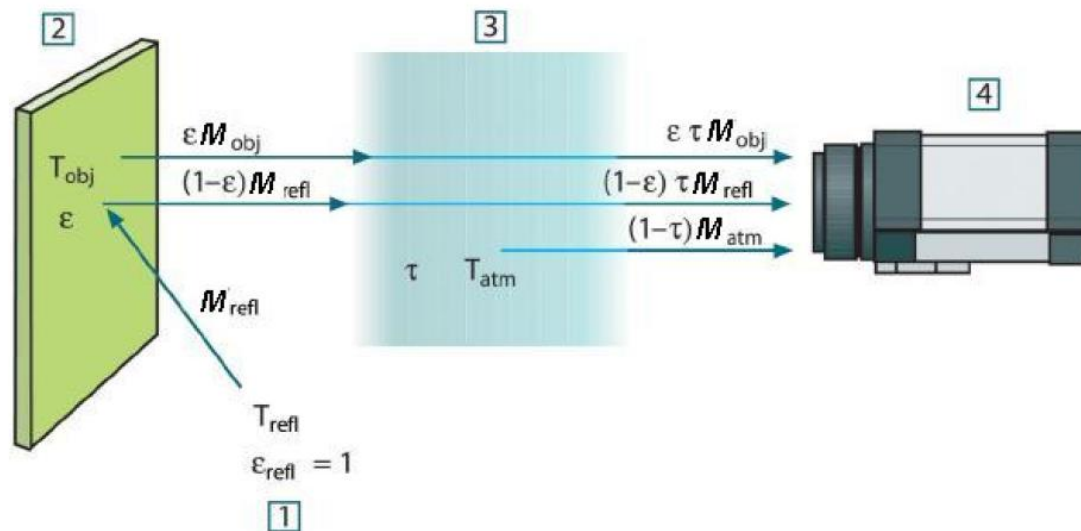
Workswell WIC-640



Konstrukce

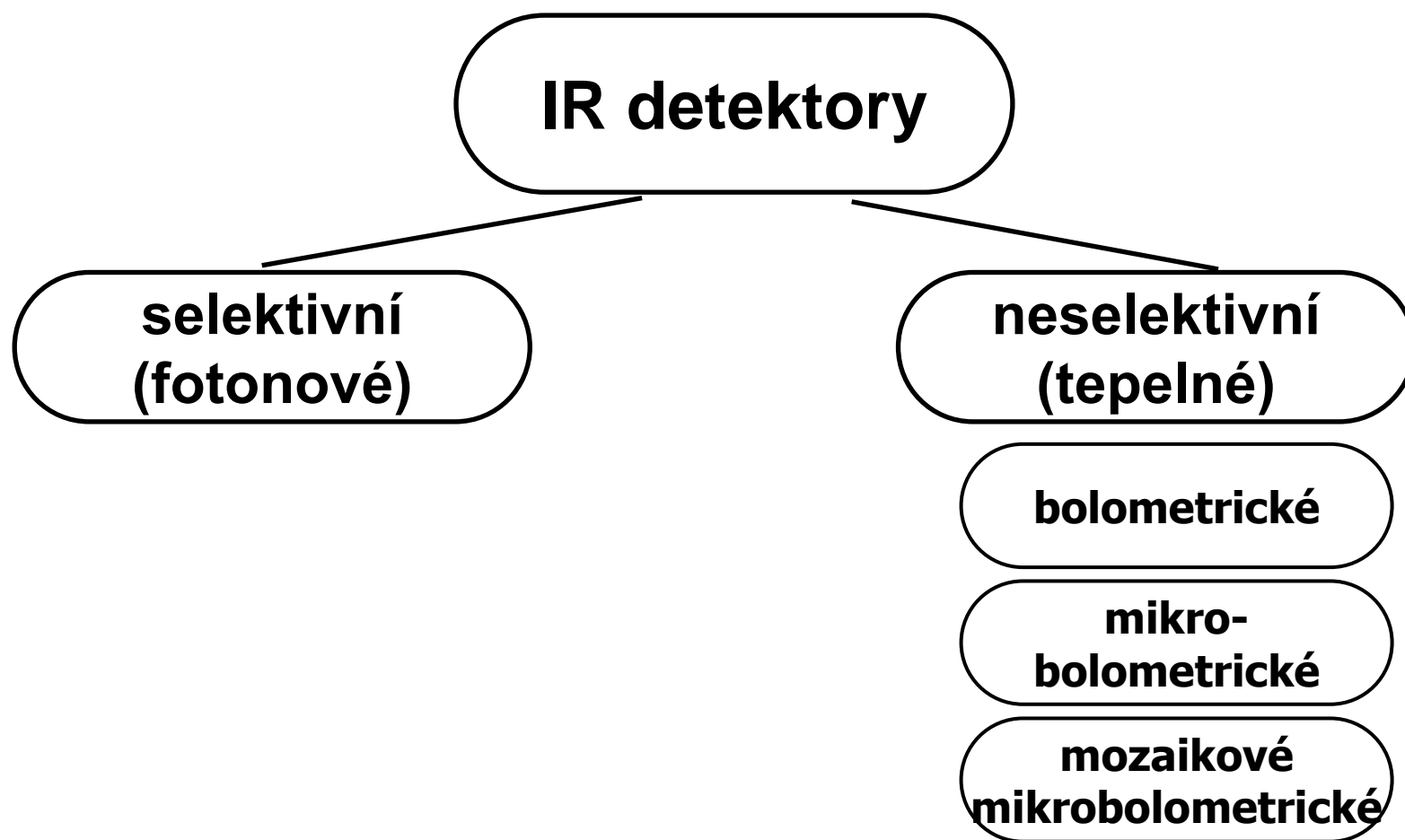


- IR radiometrické systémy pracují na principu srovnávání neznámé měřené intenzity vyzařování snímaného objektu se známou intenzitou vyzařování vnitřního referenčního zdroje
- systém vyhodnocuje diferenci mezi zářivým tokem snímaného objektu a zářivým tokem referenčního zdroje ($\Phi - \Phi_{\text{ref}}$)
- detektor je střídavě ozařován radiačním signálem ze snímaného objektu a radiačním signálem od optického modulátoru – referenčního zdroje
- zavádění referenčního signálu časově odpovídá zpětnému běhu optických rozkladových prvků skeneru do výchozích bodů řádku, snímku



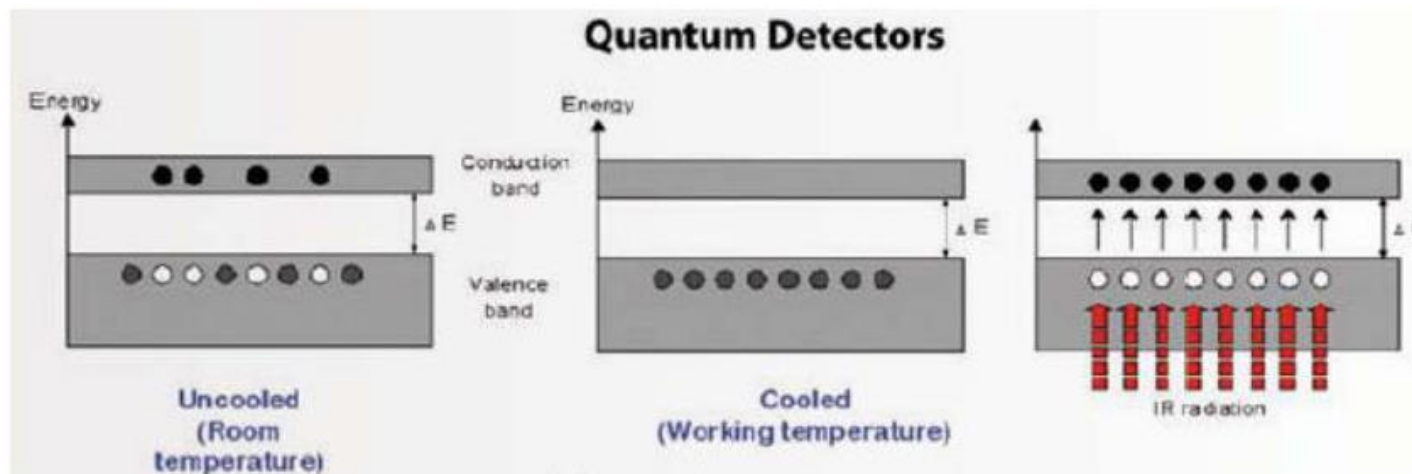
Detektory

- detektor IR záření v infrazobrazovacích systémech převádí zářivou energii na jiné formy energie (na elektrický signál)



Selektivní - fotonové detektory

- využívají přímé přeměny dopadajícího záření na elektrický náboj, elektrický proud
- kvantové detektory jsou polovodičové systémy (tellurid rtuťnokademnatý HgCdTe)
- dopadající záření přímo excituje elektrony
- jejich počet a tedy i velikost výstupního elektrického signálu je úměrný intenzitě záření
- nutnost chlazení



Selektivní - fotonové detektory

Základem je **fotoelektrický jev**: je-li energie elektronu ve valenčním pásmu, která mu byla předána fotonem záření, dostatečná k překonání zakázaného pásma Q_g , elektron opustí valenční pásmo a pohybuje se v pásmu vodivostním (vznik párů elektron-díra). Minimální energie fotonu (vlnová délka) je dána šířkou zakázaného pásma.

$$\lambda_c = \frac{h \cdot c}{Q_g} [\mu m]$$

λ_cmezní vlnová délka

Q_gzakázané pásmo energie [eV]

Bolometrické detektory

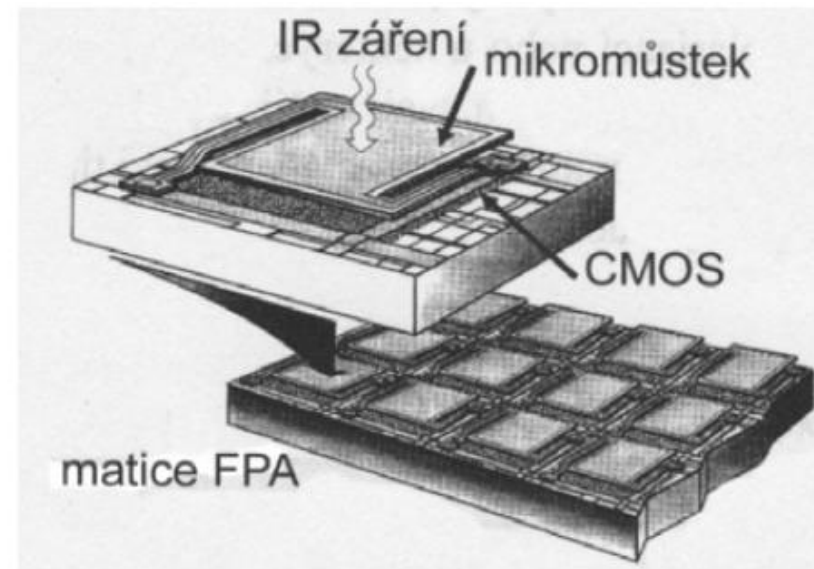
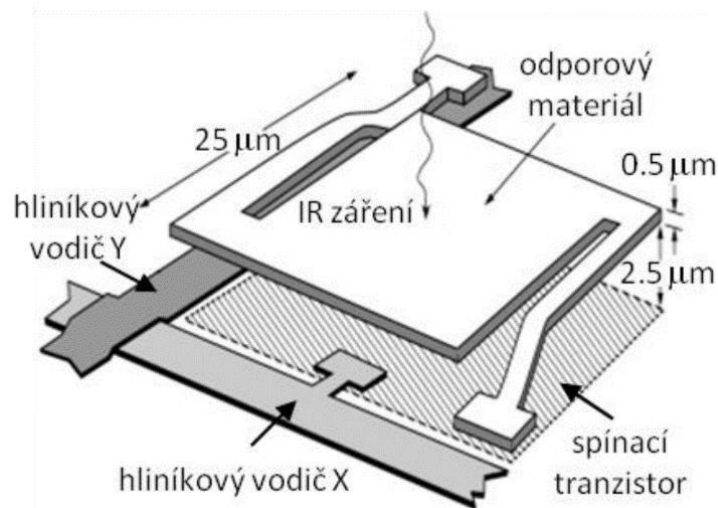
tepelné detektory

v závislosti na ohřátí (absorpce energie IČ záření) se mění vlastnosti materiálů (elektrický odpor detektorů)

charakteristická veličina: **teplotní součinitel odporu α** :

odpor elektrických vodičů s rostoucí teplotou stoupá: α má kladnou hodnotu

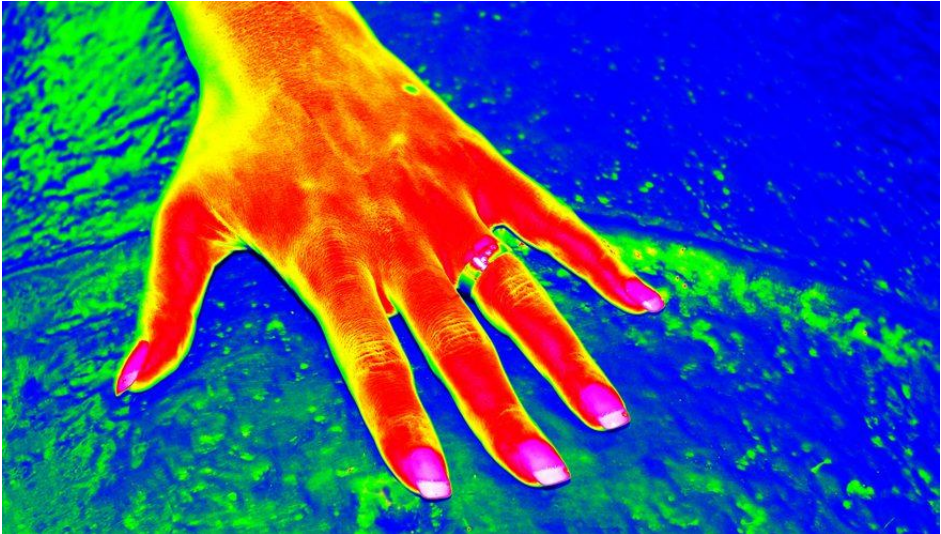
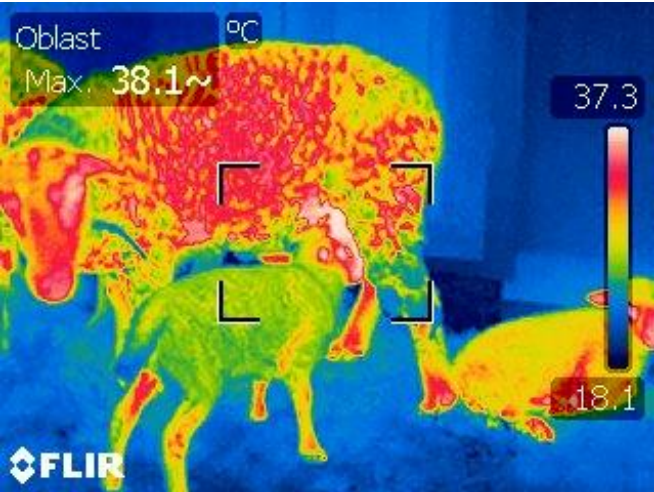
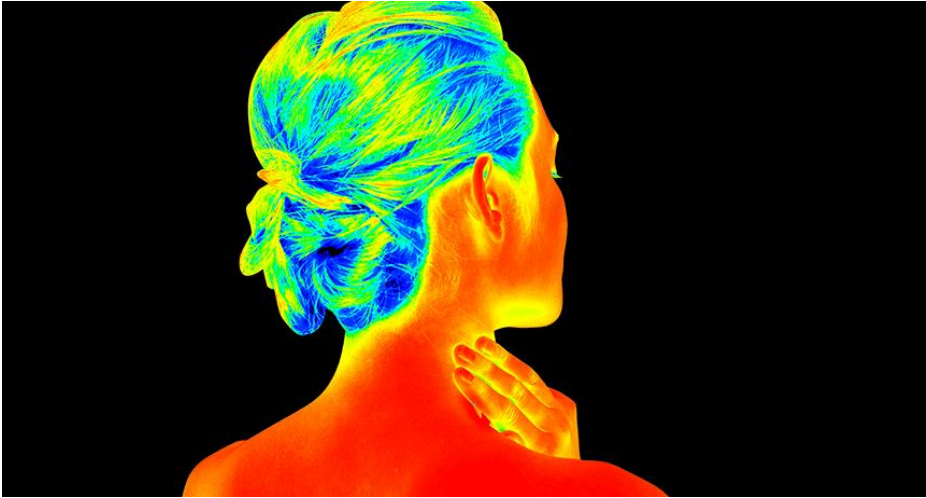
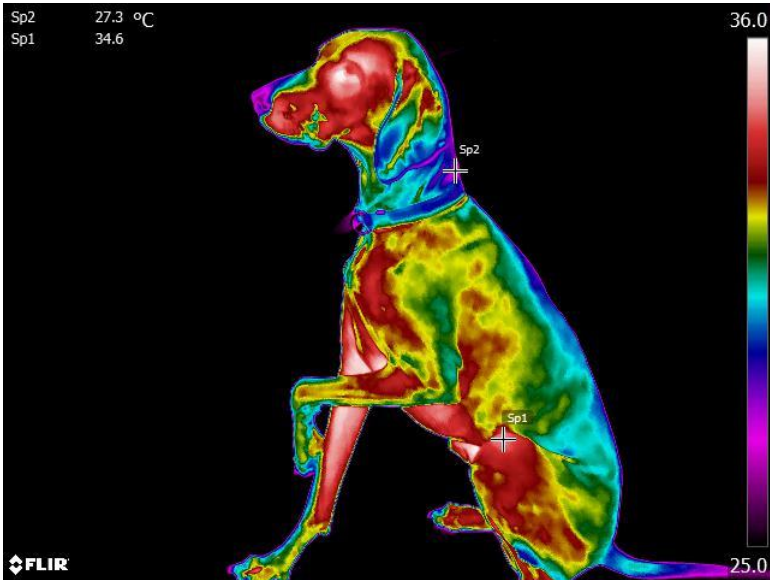
odpor $R[\Omega]$ elektrických polovodičů s rostoucí teplotou $T[K]$ klesá: α má zápornou hodnotu

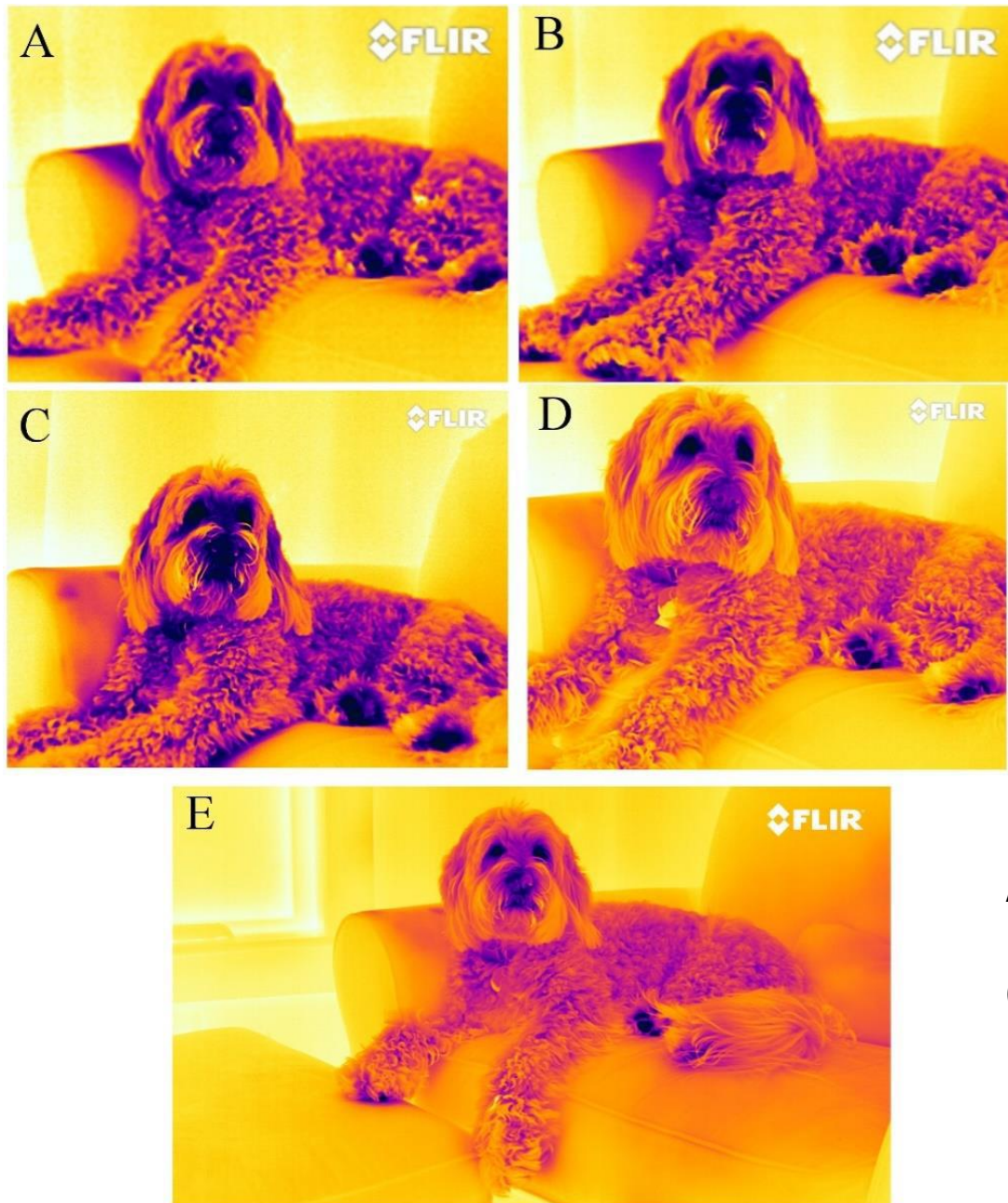


Mikrobolometrické mozaikové detektory

- paralelní uspořádání mikrobolometrických elementů do detekčních mozaik (např. 320 x 240).
- struktura je:
 - tepelně izolována od prostředí
 - tepelně stabilizována (termoelektrické chlazení na pokojovou teplotu)
 - uzavřená do vakuovaného pouzdra se vstupním oknem např. z germania.
- každý element je izolován od sousedního, aby se vzájemně neovlivňovali
- zamezení ztrátě rozlišovací schopnosti
- eliminace vlivu interní radiace =
 - automatický teplotní kompenzační systém
 - přesné senzory teploty
 - referenční tepelný zdroj

TERMOGRAM





Rozlišení termogramů

- A. 160x120
- B. 320x240
- C. 640x480
- D. 640x512 fotonový InSb
- E. 1344x784 fotonový


Hodnocení termogramů

FLIR QuickReport 1.2 SP2

Soubor Nastavení Nápověda

Uspořádat Analyzovat Zpráva

Paleta Automaticky nastavit Zoom Obraz 12 z 12



36.0 °C

34

32

30

28

26

24

23.2

IR_2615.jpg

Velikost: 84 KB
Vytvořeno: 22.11.2012 7:15:44
Kamera: FLIR B200_Westem
Objektiv: FOL18

Popis obrazu

Textové připomínky Parametry objektu ???

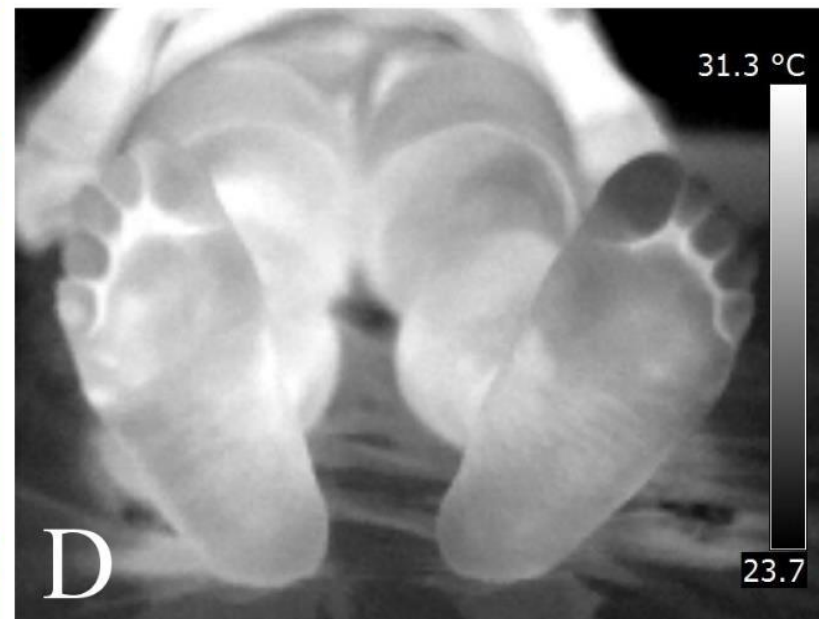
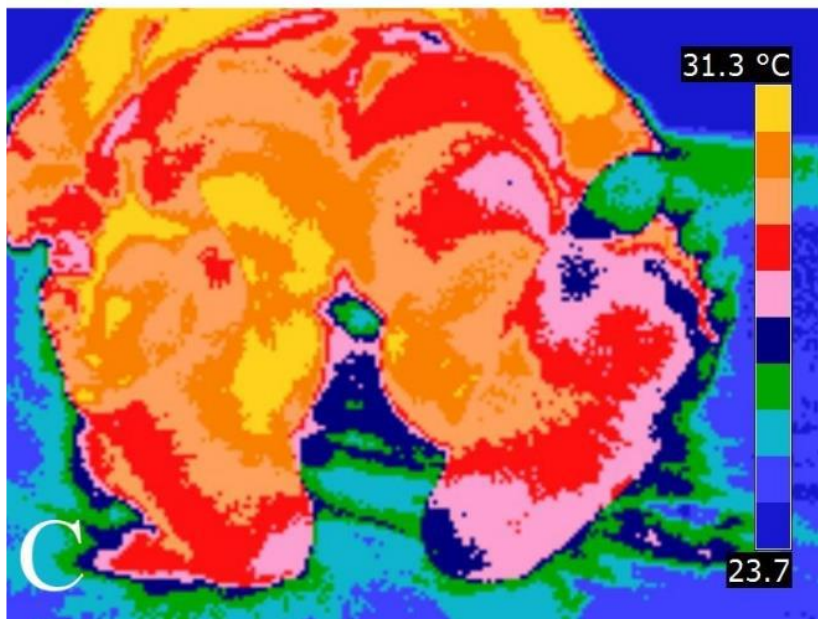
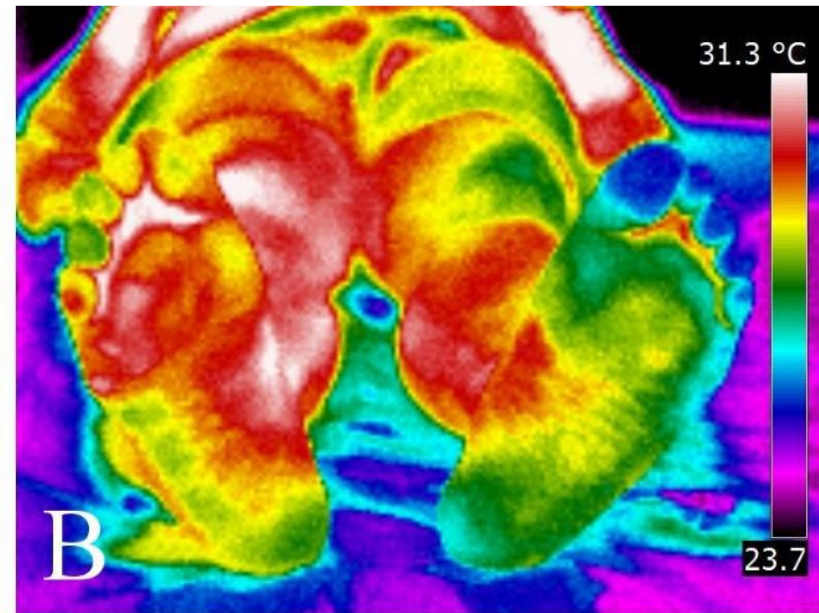
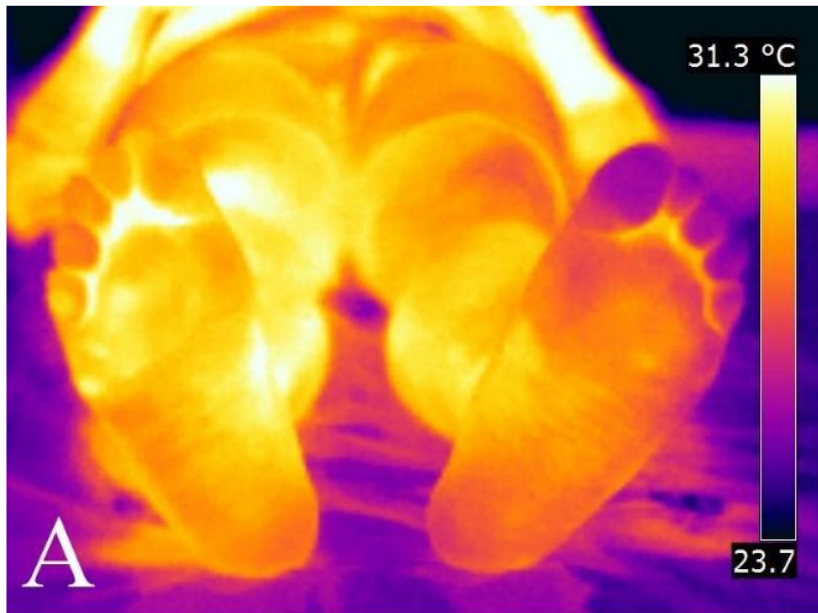
Emisivita: 0,98
Odražená teplota: 20,0 °C
Atmosférická teplota: 22,0 °C
Relativní vlhkost: 50,0 %
Vzdálenost: 1,0 m

Použít

Měření

Popis	Min.	Max.	Průměr
Obraz	23,2 °C	36,0 °C	

Možnost výběru palety barev



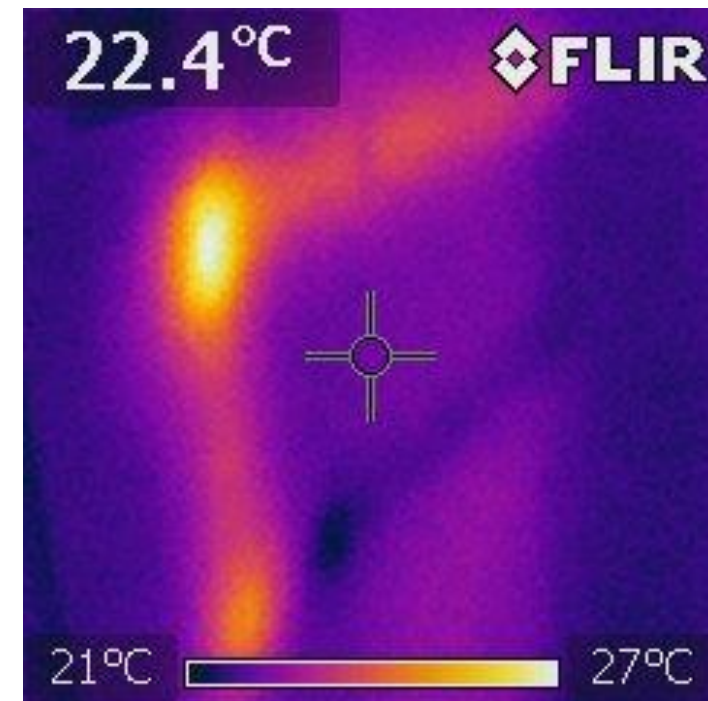
Využití v průmyslu, stavebnictví a energetice

Tepelné izolace

Biofyzikální ústav LF MU



Tepelný most- únik tepla



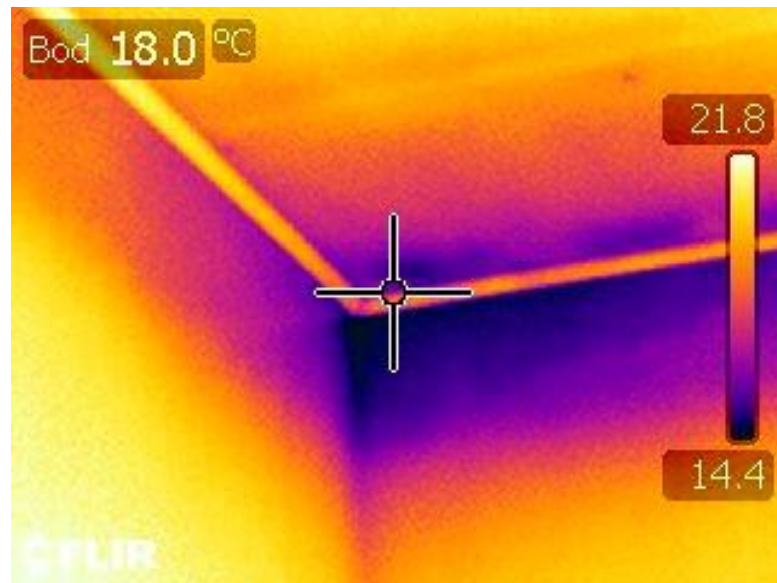
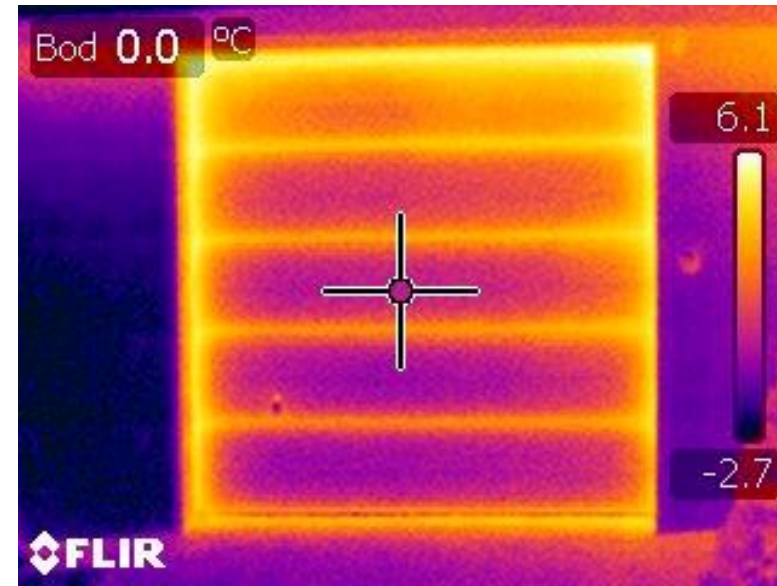
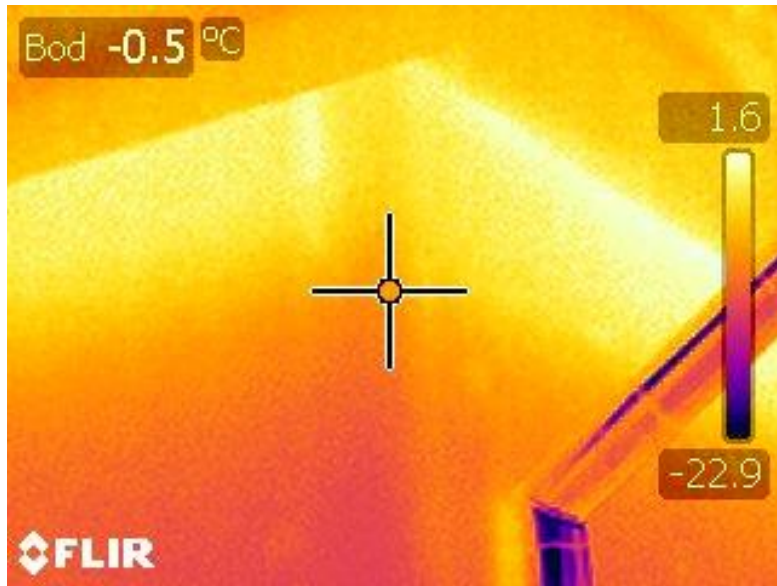
Uzávěr vodovodního
potrubí



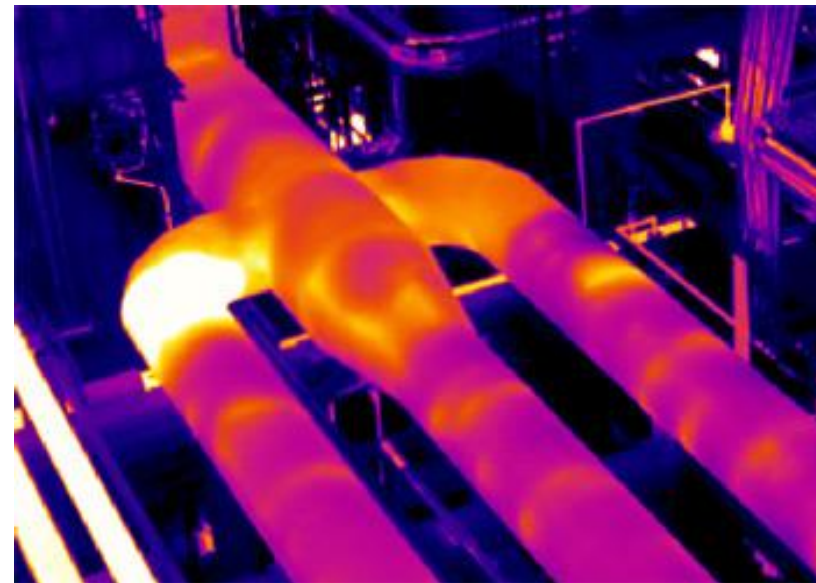
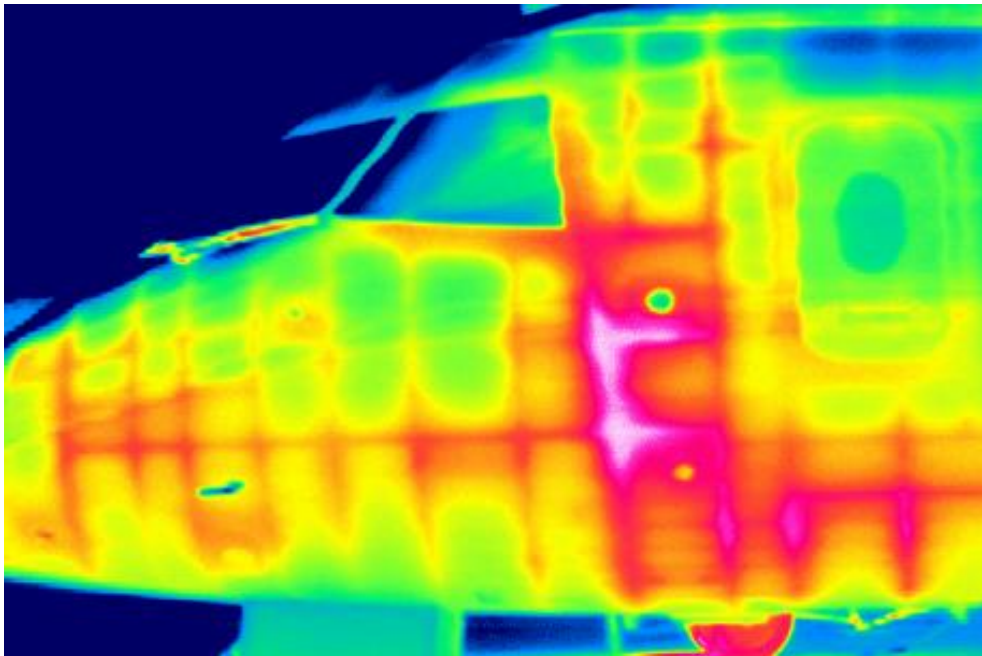
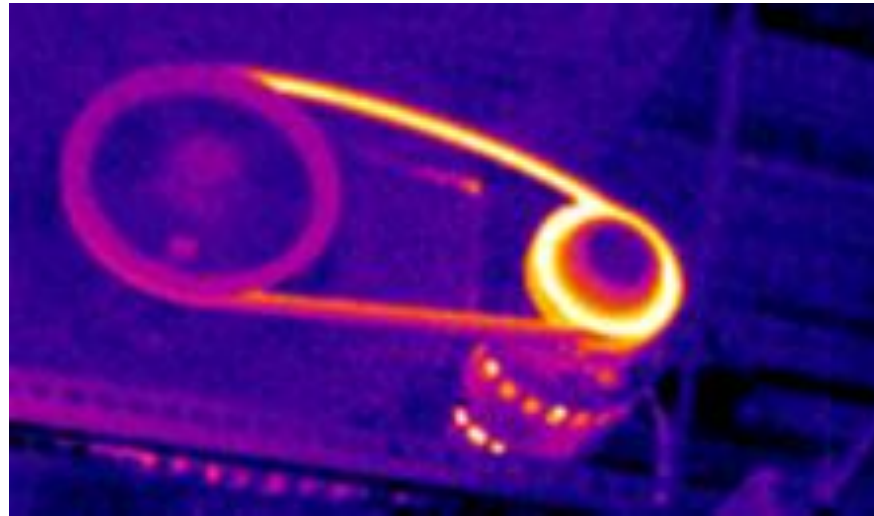
Teplotní rozdíl mezi polystyrenem zateplenou stavbou (vpravo) a běžnou fasádou.

Tepelná ztráta radiátoru a nedoléhavého okna





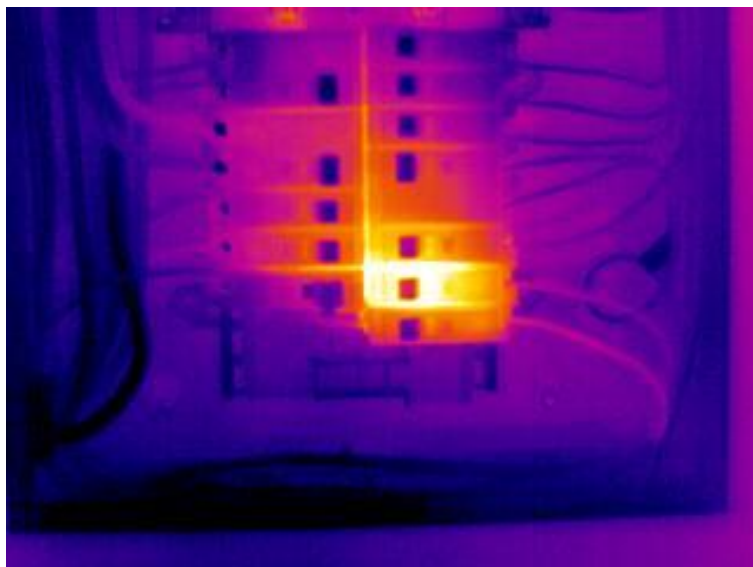
Inspekce materiálů





Chybný elektrický rozvod - inspekce

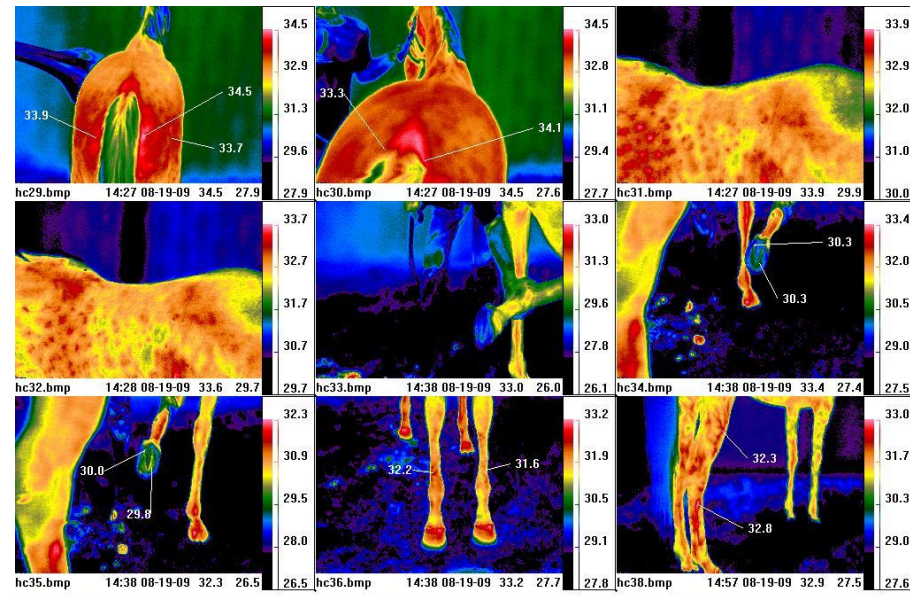
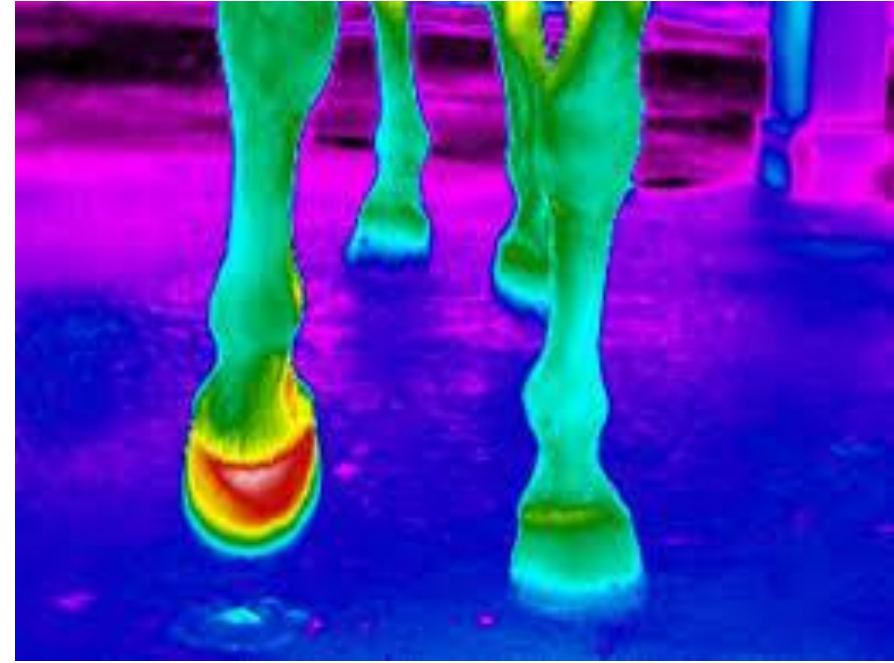
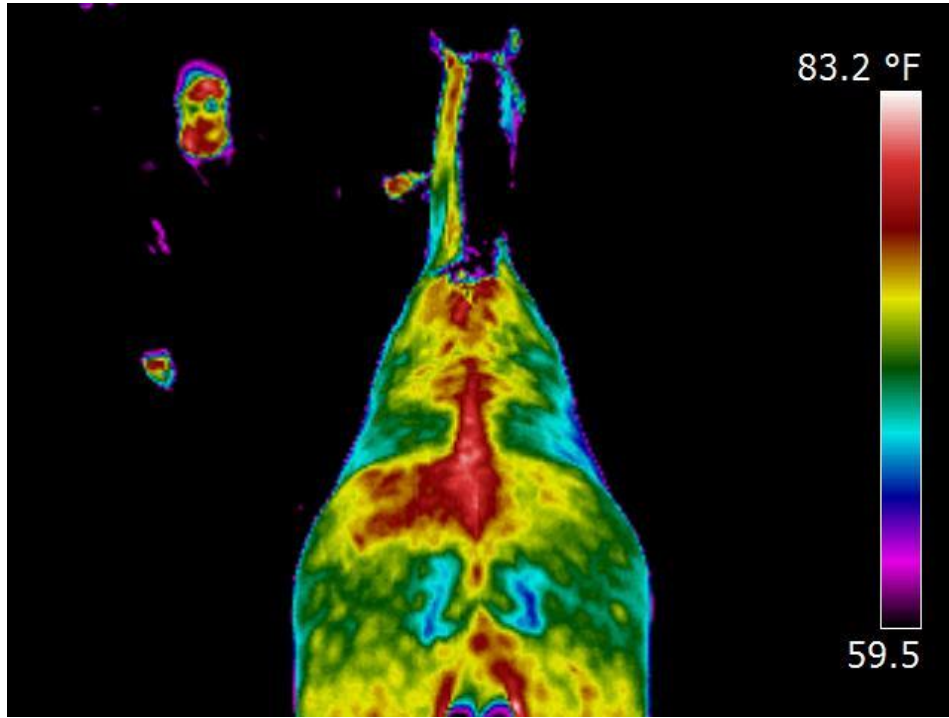
"Electrical fault" by Hotflashhome - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electrical_fault.jpg#mediaviewer/File:Electrical_fault.jpg



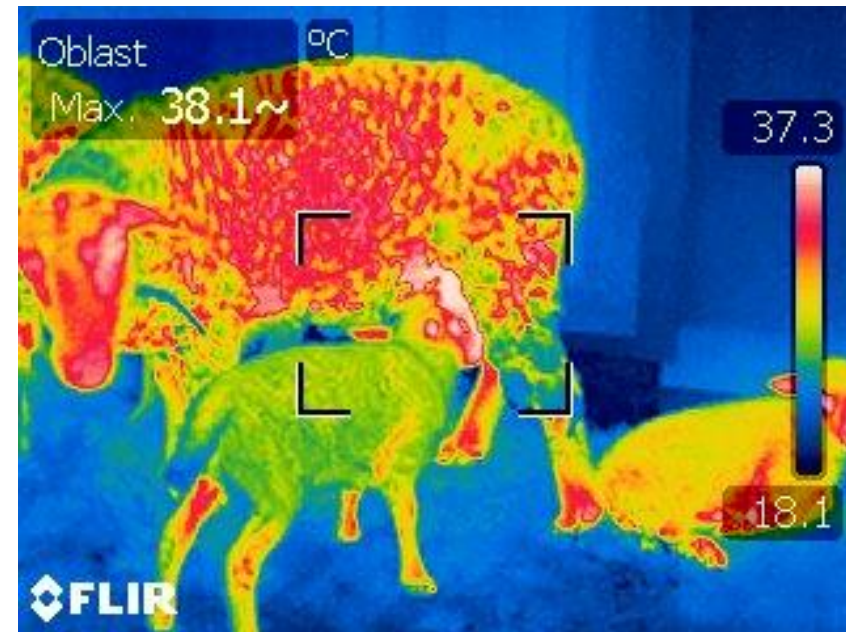
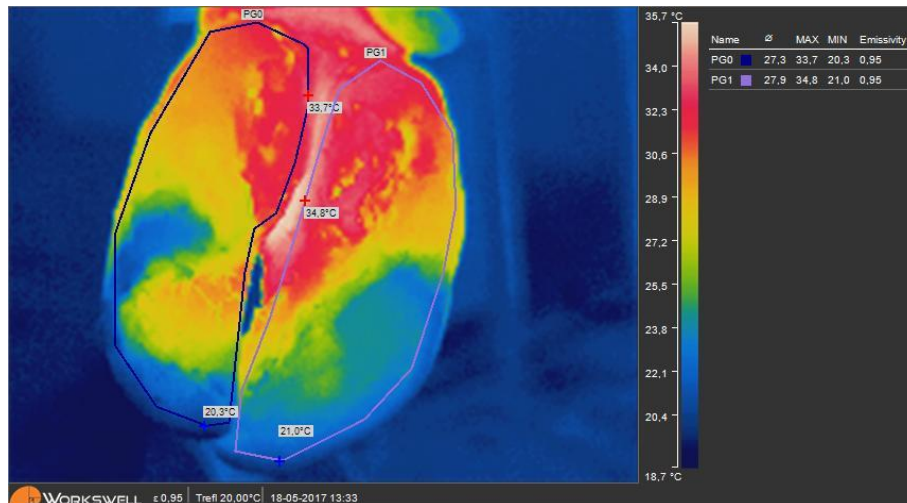
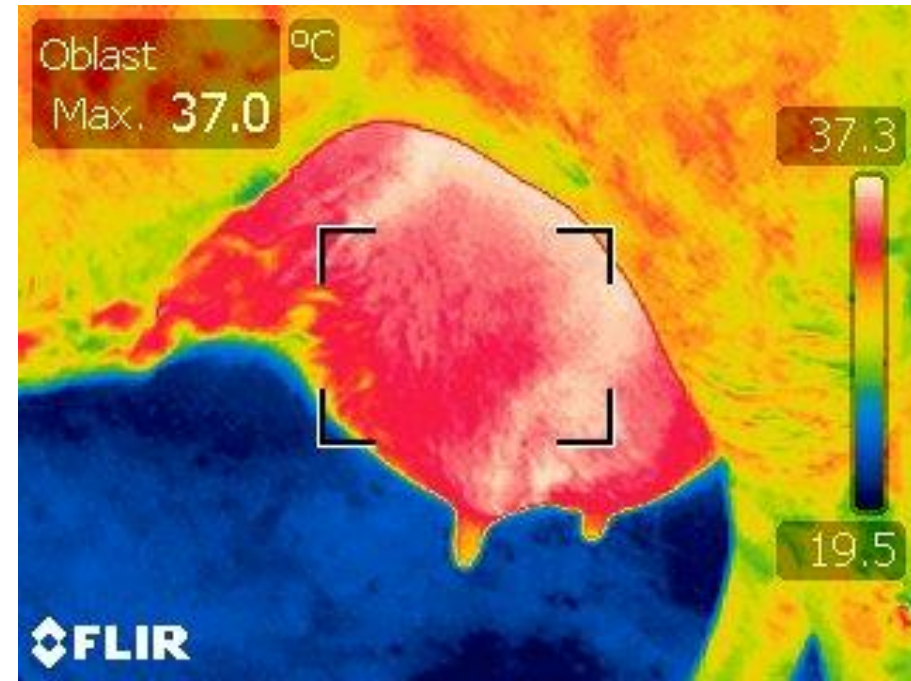
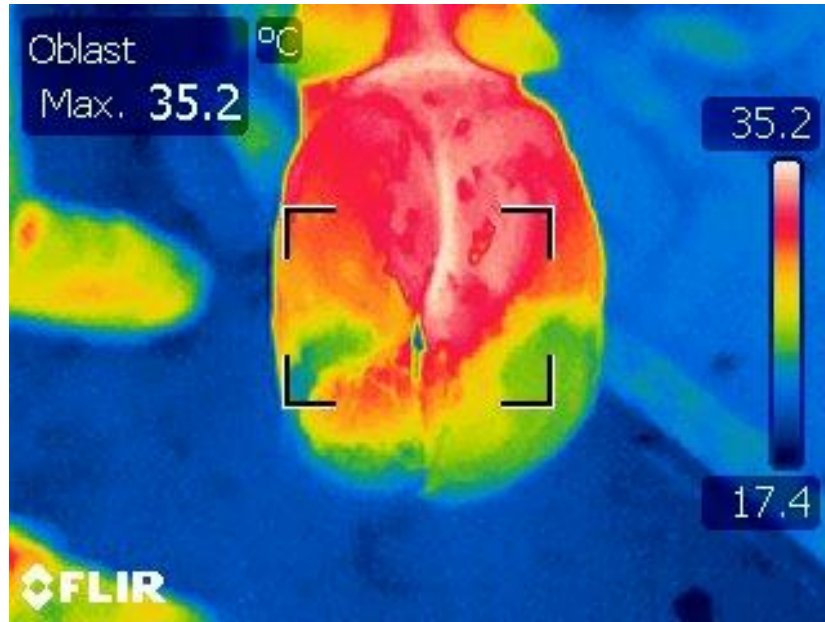
Vadný elektrický kontakt

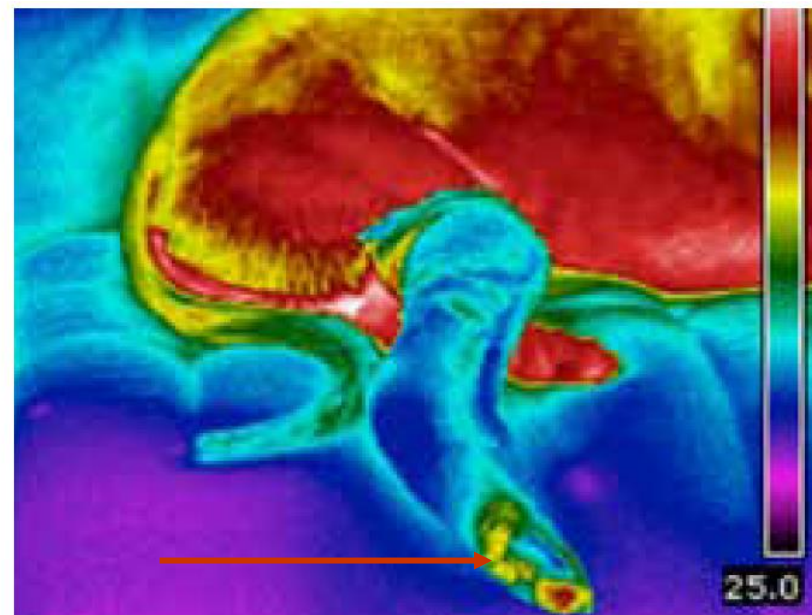
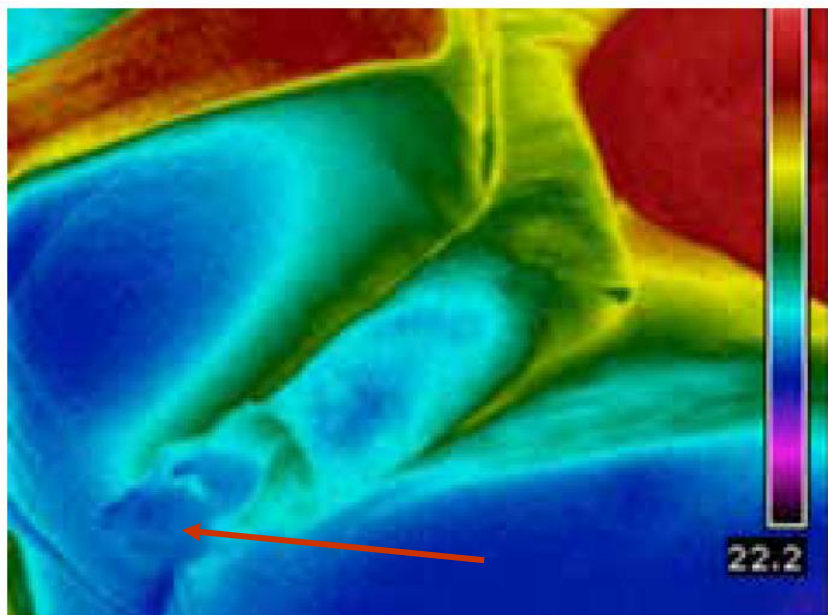
<http://bradyinfrared.com/wp-content/uploads/2011/03/electrical-panel-scans.jpg>

Využití IRT ve veterinární medicíně



Paznehty





Kontrola přiměřeného utažení obvazu – první případ jeho nadměrné utažení se zamezením proudění krve do končetiny

Využití v medicíně

Výhody bezkontaktní termografie

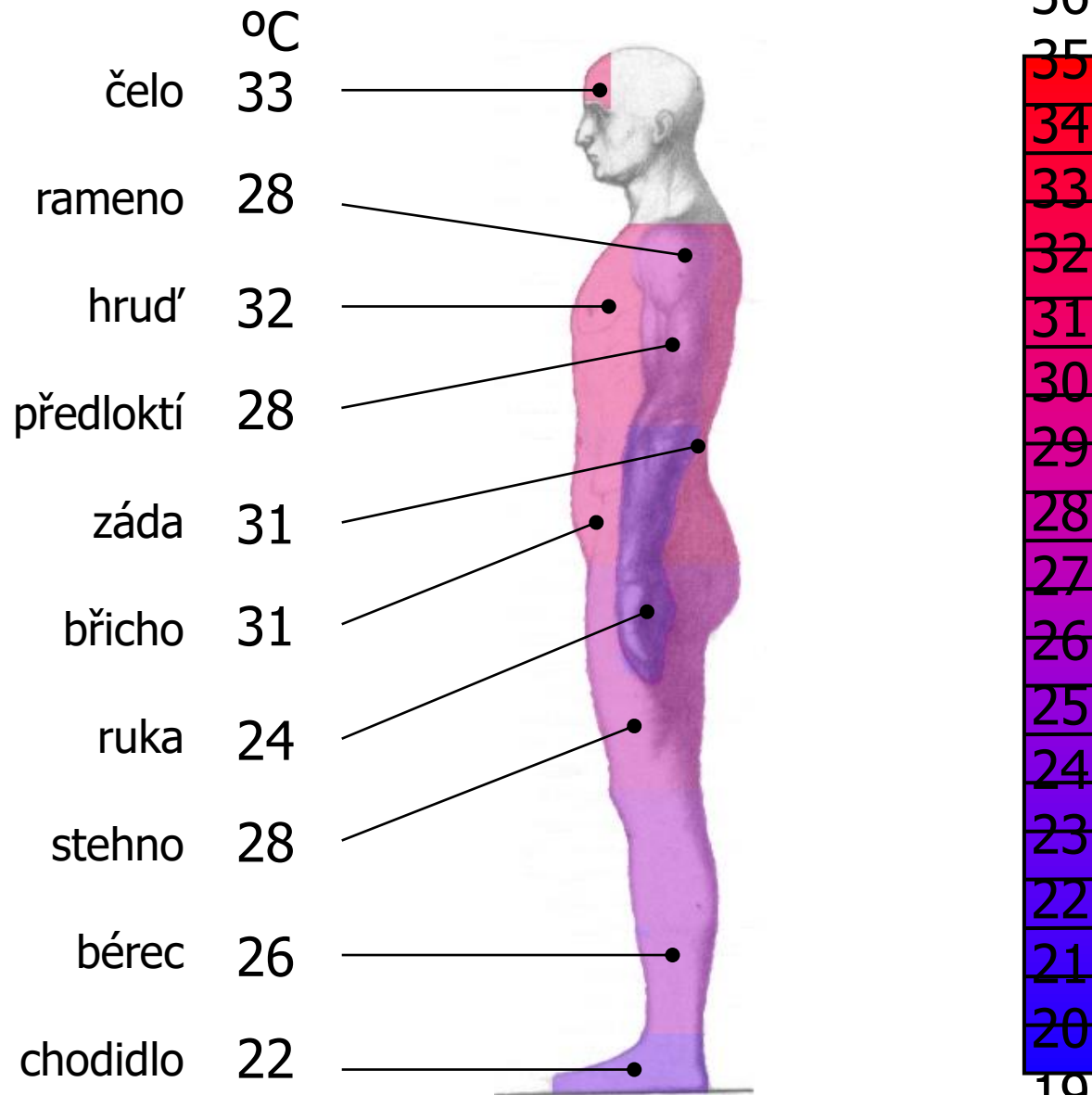
- neinvazivnost
- jednoduchost
- bezpečnost pro pacienta i obsluhu
- nízká cena vyšetření

Nevýhody bezkontaktní termografie

- Příprava pacienta a parametry okolního prostředí (ordinace)
- Emisivita a povrch snímaného objektu
- Rozdílná hodnota teploty jednotlivých částí těla v rámci populace – variabilita
- Srovnávací metoda
- Měření pouze povrchové teploty

- chorobou postihnuté místo vydává jiné množství tepla než okolité zdravé tkáně
- na **termogramu** se to projeví změnou v rozdělení teploty tělesného povrchu, co může být hodnoceno jako nespecifický příznak nemoci
- Neochlupený a suchý povrch lidského těla se chová jako téměř **dokonalé černé těleso** a to nezávisle na barvě pokožky

Okolní teplota 15 °C



37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17

Povrchová teplota kůže člověka (°C)

Teplota okolí	Chodidlo	Bérec	Stehno	Břicho	Záda	Hrud'	Rameno	Předloktí	Ruka	Čelo	Střední hodnota
15	17,4 ±2,4	22,3 ±1,8	23,2 ±2,2	29,1 ±2,3	30,1 ±2,4	29,9 ±2,2	26,2 ±1,3	27,0 ±2,0	19,7 ±2,7	29,7 ±2,1	25,7 ±1,2
20	21,7 ±0,9	25,8 ±1,0	27,9 ±1,5	30,7 ±1,7	31,3 ±1,1	31,9 ±1,1	28,0 ±0,8	27,7 ±0,7	24,0 ±1,3	32,9 ±0,9	28,2 ±0,8
25	27,1 ±0,8	28,9 ±1,0	30,5 ±1,1	33,5 ±0,4	32,7 ±1,5	32,8 ±0,9	30,8 ±2,0	30,3 ±1,3	25,4 ±2,1	33,9 ±0,4	30,6 ±0,9
30	31,6 ±1,0	32,7 ±0,7	33,4 ±0,6	34,7 ±0,8	34,4 ±0,8	34,5 ±0,8	33,4 ±0,8	33,6 ±0,6	32,9 ±0,9	34,8 ±0,7	33,4 ±0,5
35	35,5 ±0,3	35,3 ±0,2	35,0 ±0,4	35,1 ±0,6	35,4 ±0,4	35,9 ±0,3	36,0 ±0,2	35,7 ±0,3	35,8 ±0,2	35,8 ±0,6	35,7 ±0,2



Povrch a emisivita



Zaschlý hydratační gel



Zaschlý Novikov a vliv zrcadlené venkovní teploty



- termovizní kontroly na letištích (chřipkové epidemie)



Tchaj-wan
Letiště
Taipei –
4/2019

M U N I
M E D



American College of Clinical Thermology

http://www.thermologyonline.org/Breast/breast_thermography_clinics.htm

ACCT Approved Thermography Clinics

USA	Australia	International
-----	-----------	---------------

United States

Alabama

Dothan	Fairhope	Foley	Madison
Mobile			

Alaska

Wasilla

Arizona

Chandler	Mesa	Payson	Peoria
Phoenix	Prescott	Scottsdale	Sedona
Surprise	Tempe	Tucson	

California

Agoura Hills	Albany	Beverly Hills	Buellton
Calabasas	Canyon Country	Carlsbad	Costa Mesa
Dana Point	Encinitas	Eureka	Fortuna
Fresno	Garberville	Irvine	Julian
La Crescenta	Lafayette	Lake Forest	Lancaster
Lompoc	Los Alamitos	Los Angeles	Los Gatos
Malibu	Mill Valley	Monrovia	Montecito
Mt. View	Oakland	Oceanside	Ojai
Pacific Grove	Pacific Palisades	Palm Desert	Palm Springs
Paso Robles	Pomona	Redlands	Riverside
Salinas	San Diego	San Dimas	San Francisco
San Jose	San Luis Obispo	Santa Barbara	Santa Cruz
Santa Monica	Sherman Oaks	Soquel	Tarzana
Templeton	Topanga Canyon	Torrance	Tustin
Ventura	Vista	Westlake Village	Willits

Australia

NSW

Bondi Junction	Crowsnest	Penrith	Port Macquarie
Warrawee			

QLD

Brisbane	Coorparoo	Emerald	Hervey Bay
Rockhampton	Sunshine Coast	Toowoomba	Torquay

SA

Dulwich	Loxton
---------	--------

VIC

Hughesdale

WA

Floreat

Poland

Wroclaw

Romania

Bucharest

South Africa

Cape Town	Durban	Gauteng	Nelspruit
Plettenberg Bay	Pretoria	Stellenbosch	

Spain

Malaga

Sweden

Farila	Helena
--------	--------

Turkey

Ankara	Istanbul	Izmir	Sakarya
--------	----------	-------	---------

UK

Accrington	Banstead	Brighouse	Bucks
Chippenham	Devon	Equine	Essex
Gloucestershire	Godalming	Guernsey	High Wycombe
Huddersfield	Isle of Man	Jersey	Kent
Lancaster	Lancs	Liverpool	London
Manchester	Merseyside	Milton Keynes	Nantwich
Norfolk	Northern Ireland	Scotland	Shipston on Stour
Shrewsbury	Shropshire	Skipton	Stafford
Suffolk	West Yorkshire	Whitchurch	Wiltshire
Winslow/Cheshire	Worcestershire	Worthing	

Historie termografie

– Počátky v 50. letech 20. století

Vol. 38, No. 6 / THERMOGRAPHY IN BURN INJURY

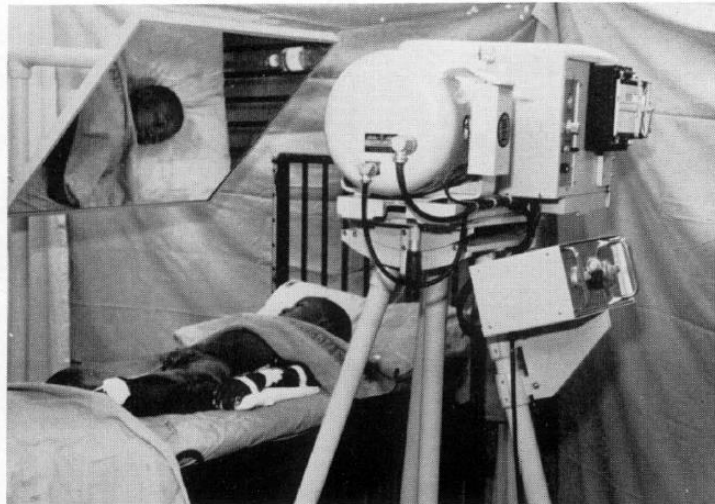
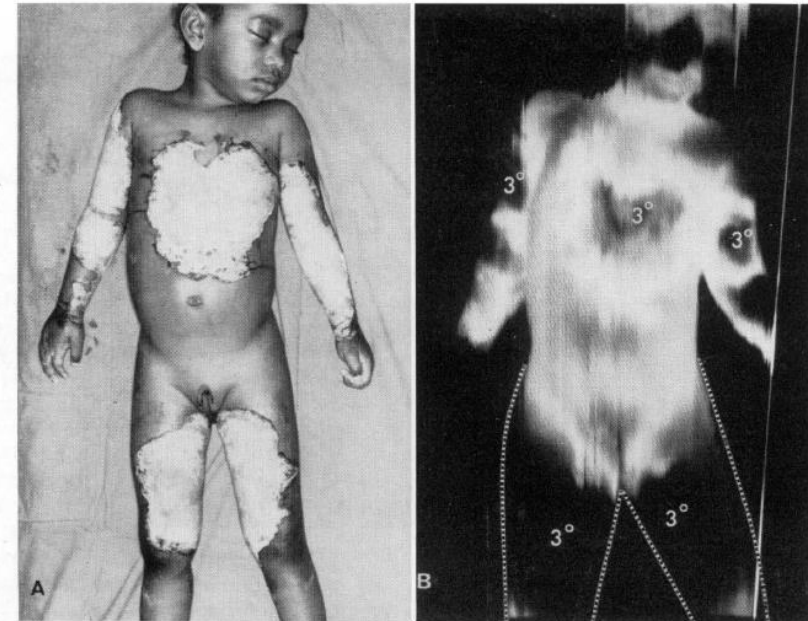
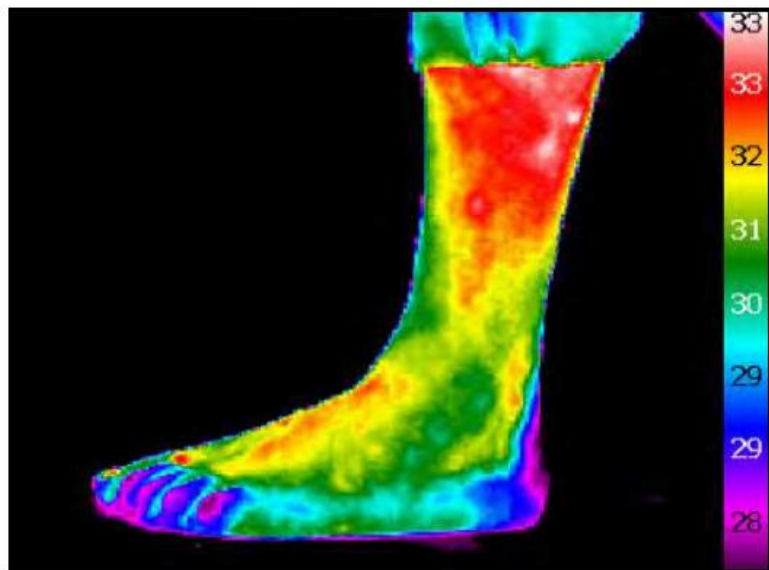
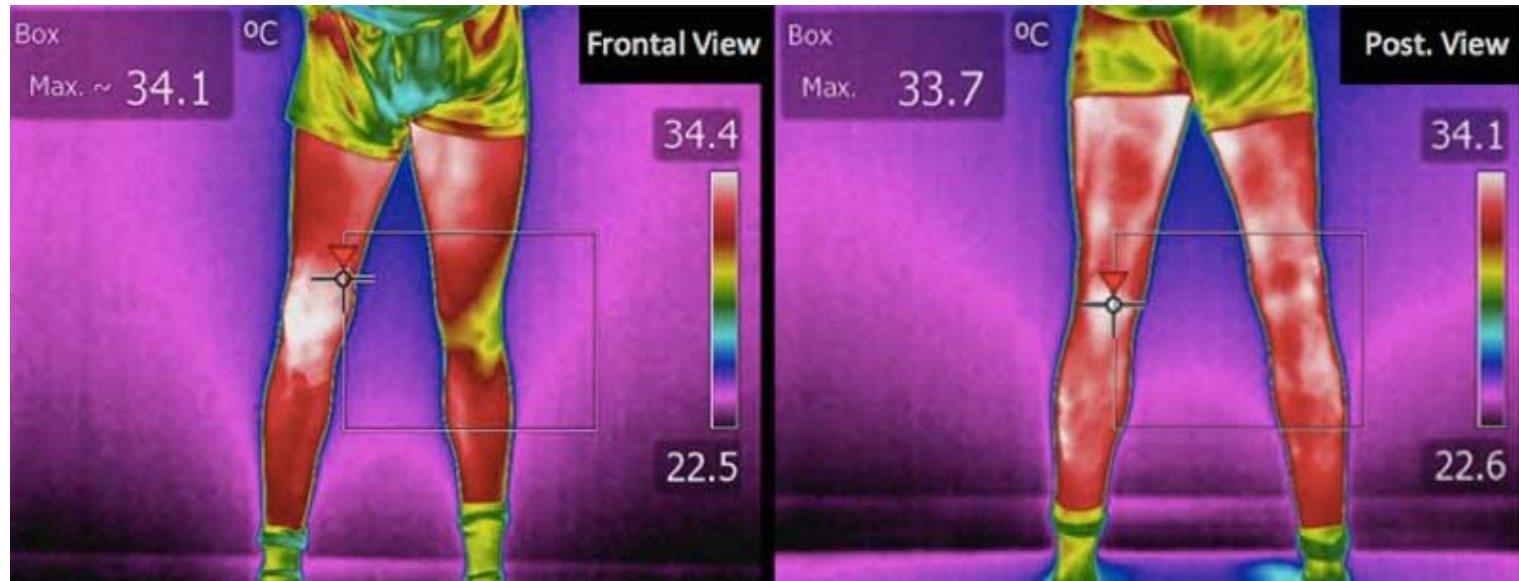


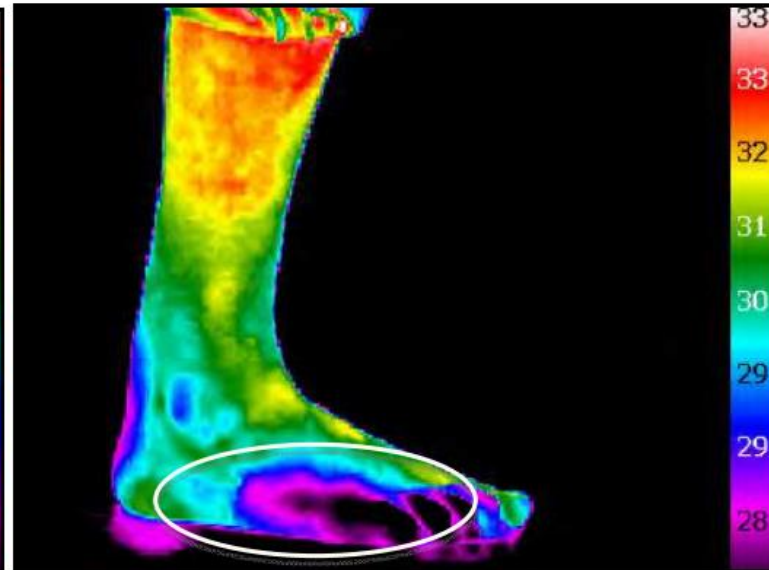
FIG. 1. Position of patient in relationship to thermograph machine is shown during scanning of a burn patient.



Využití ve sportovní medicíně

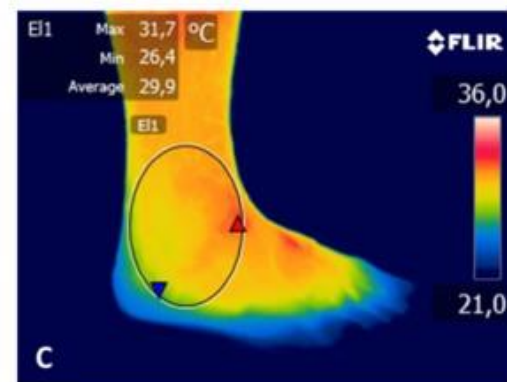
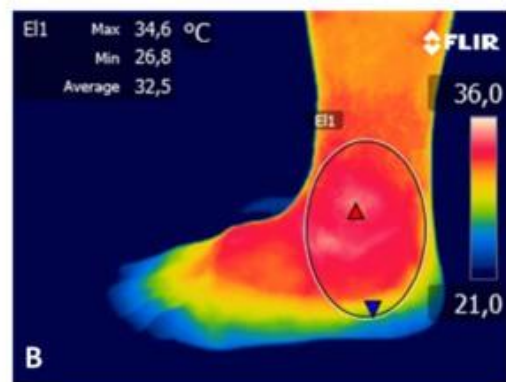
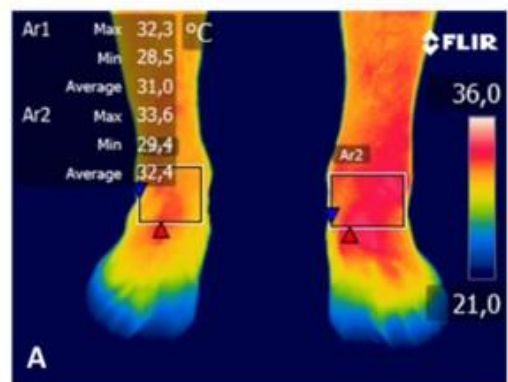


a. left foot

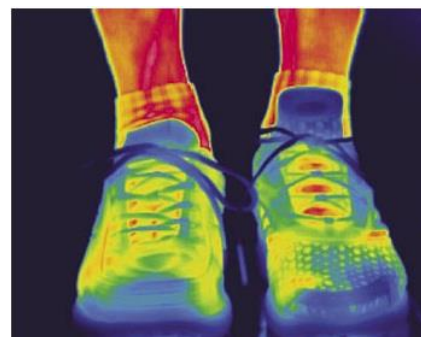
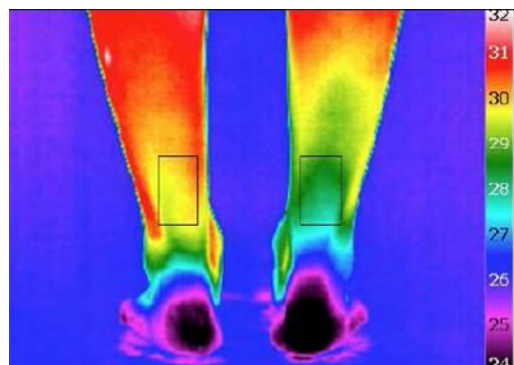
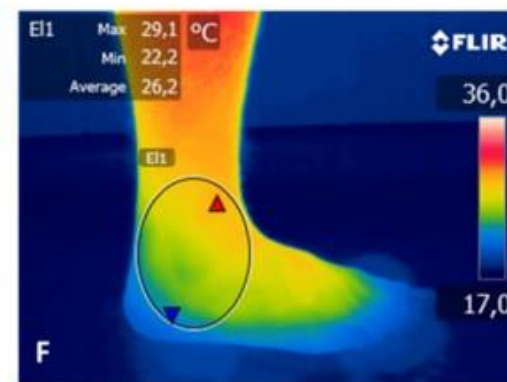
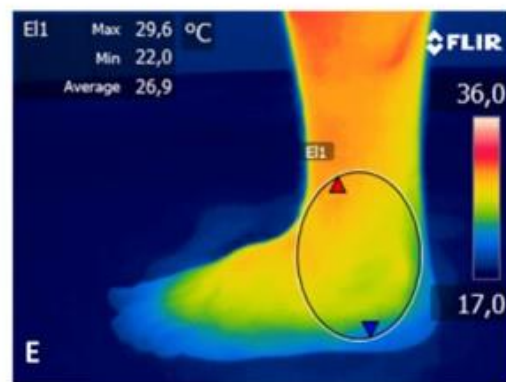
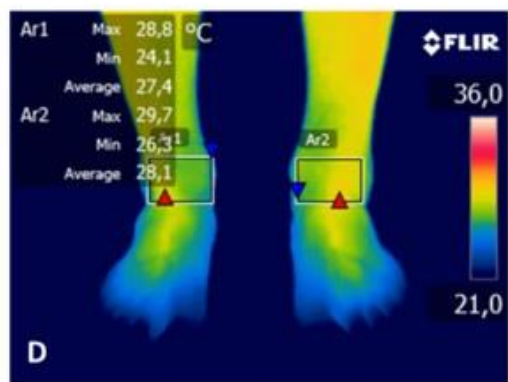


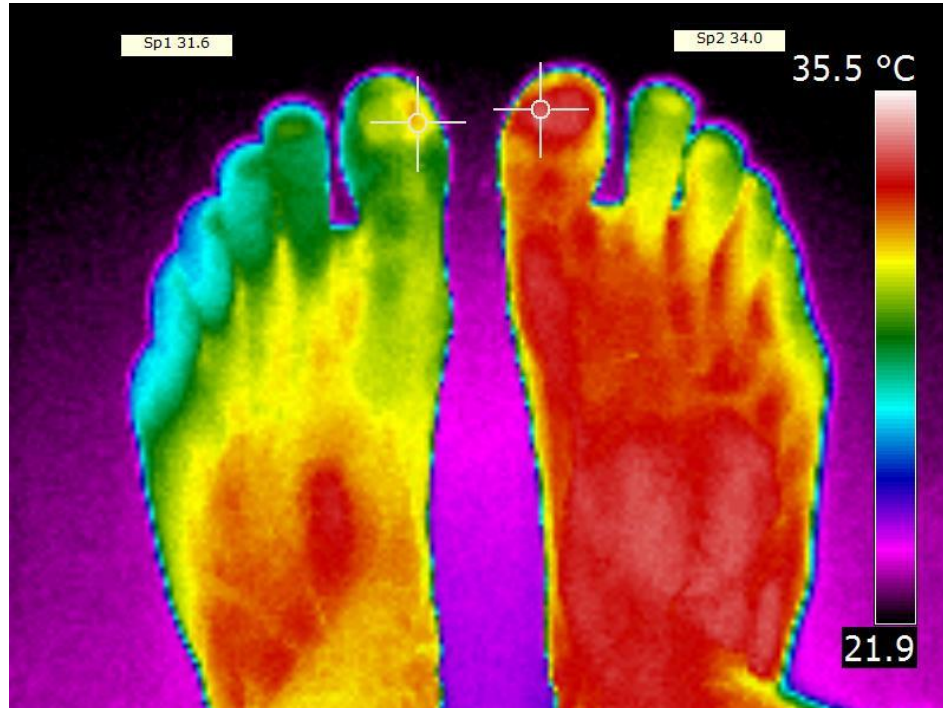
b. right foot

Day 1

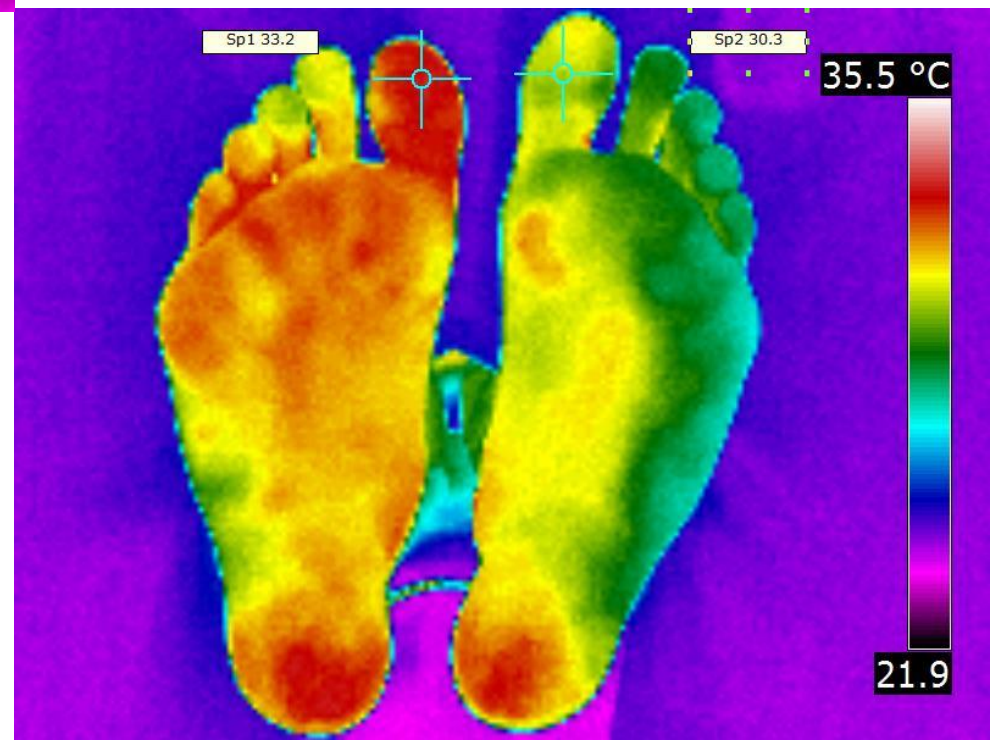


Day 29

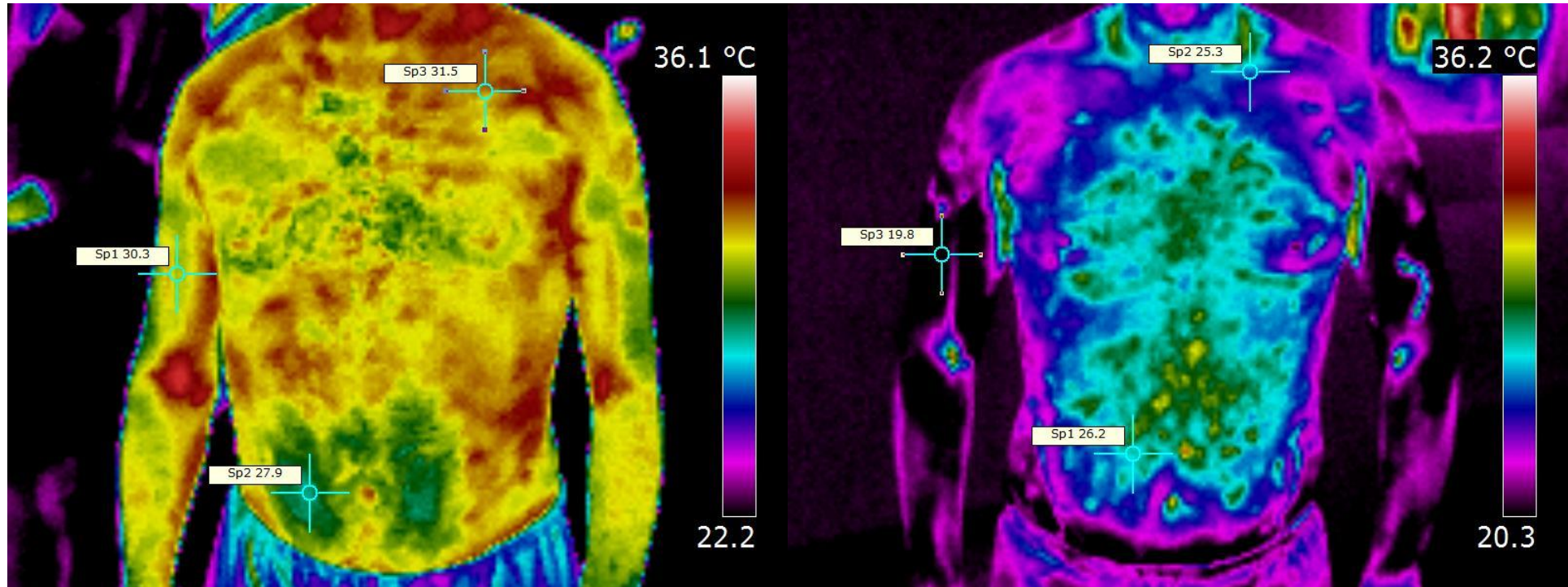




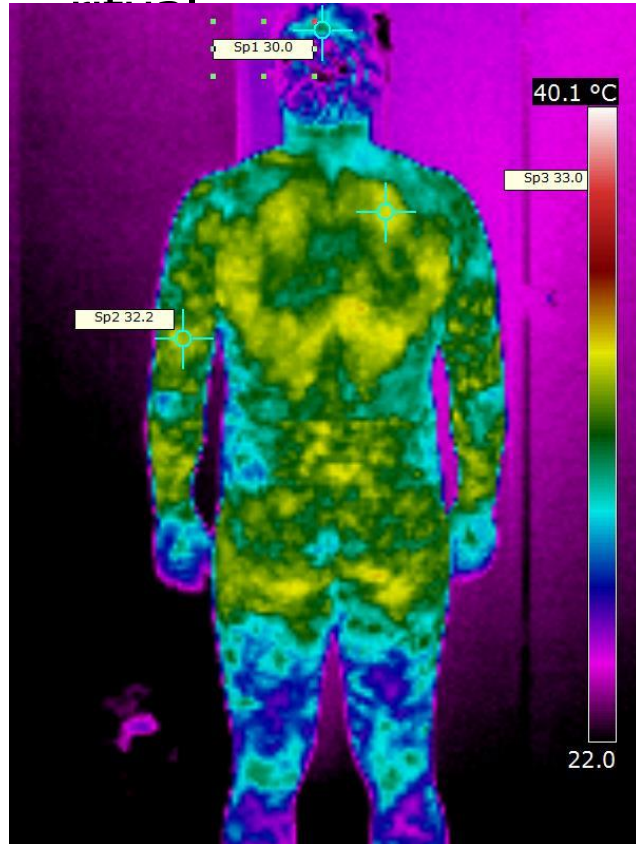
zánět v oblasti lůžka nehtu palce



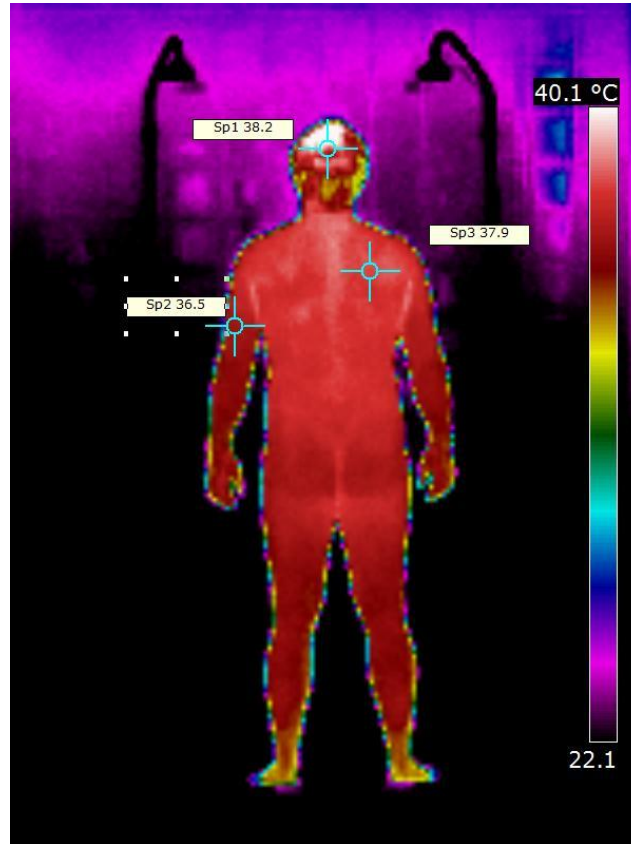
Kryokomora



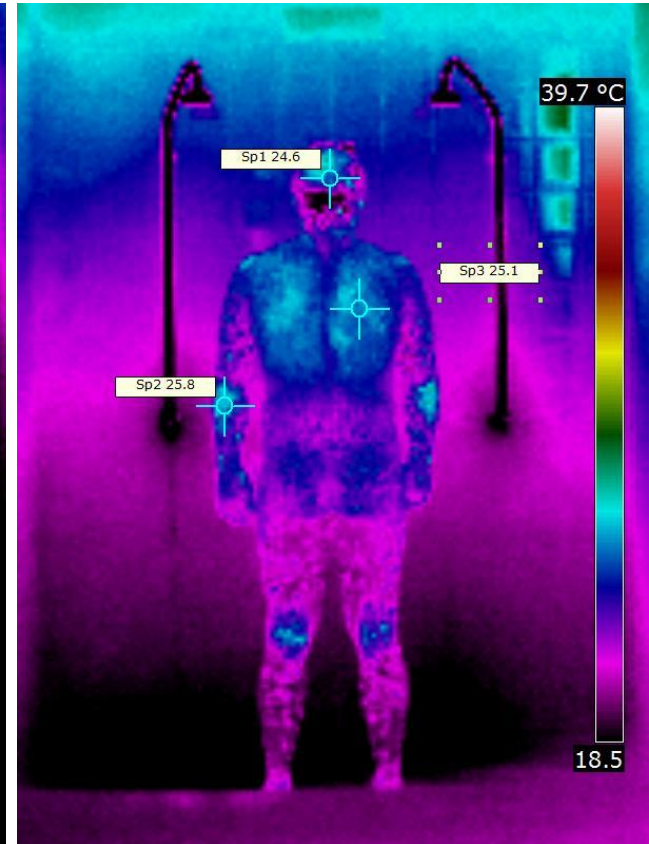
Efekt prohřátí organismu v sauně – saunařský



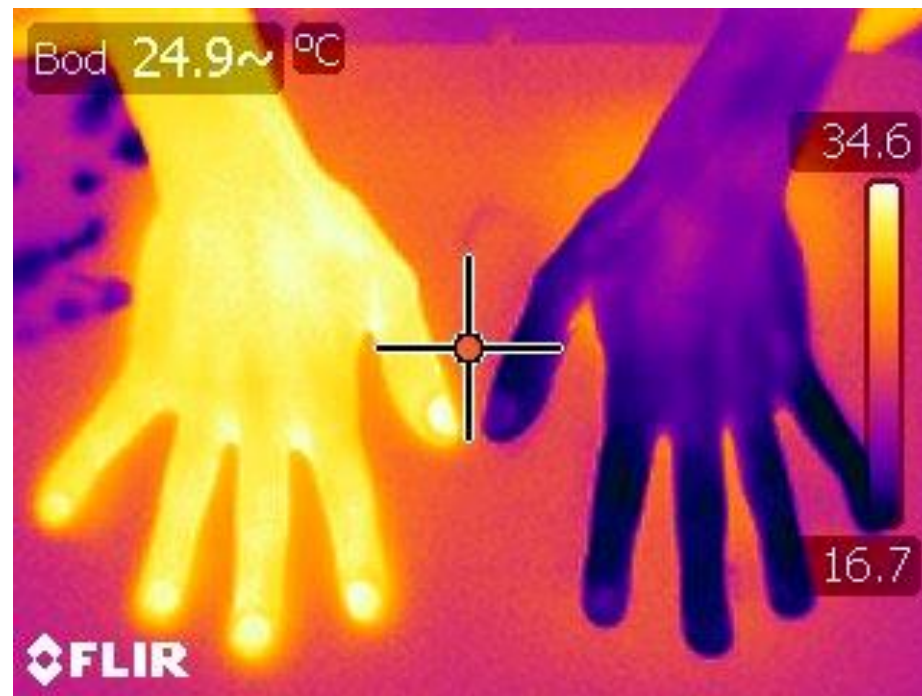
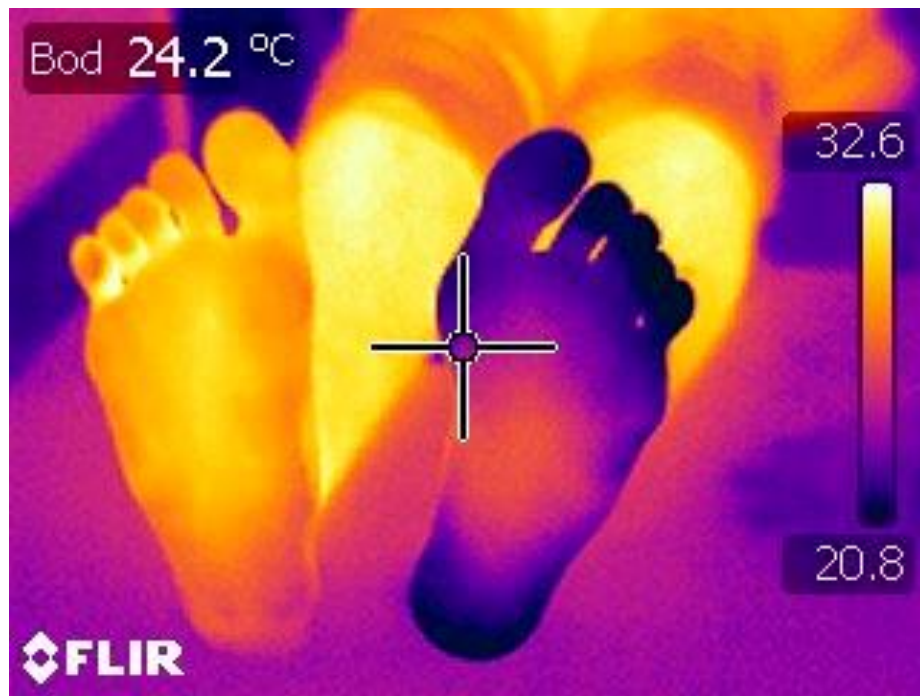
Před vstupem do sauny



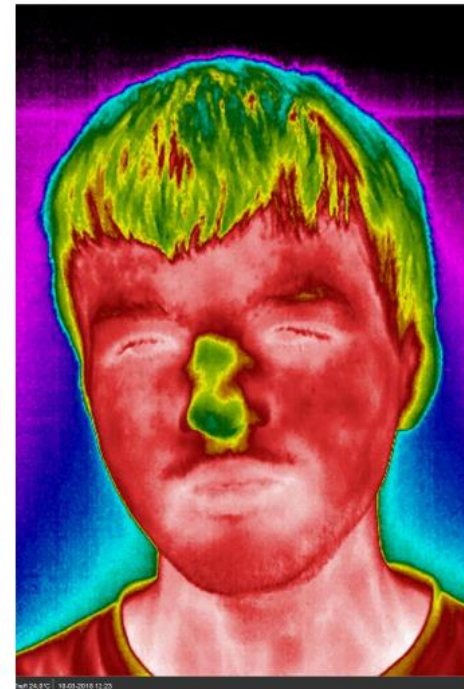
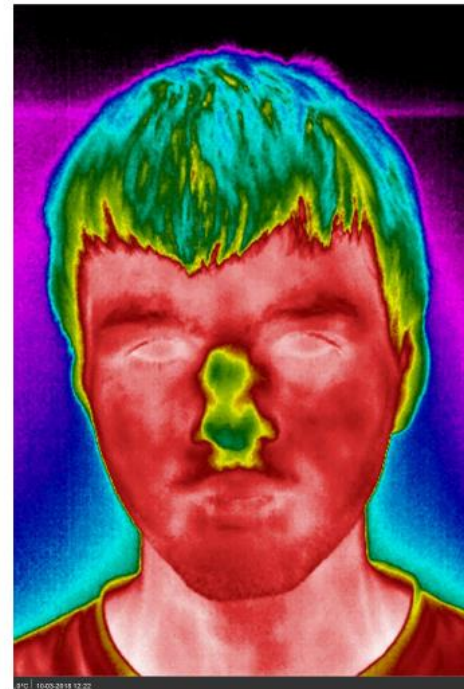
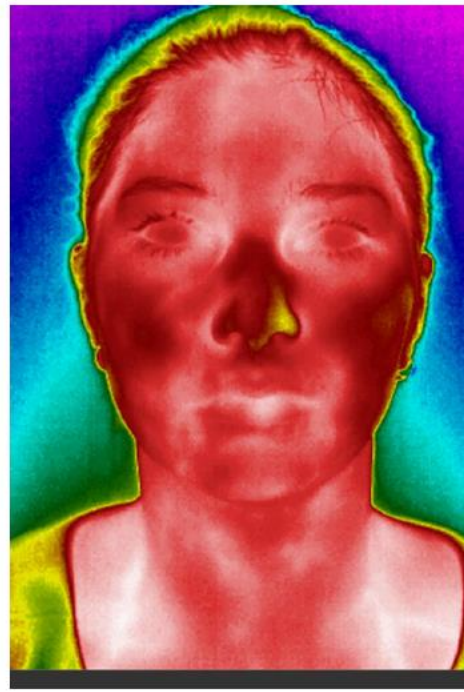
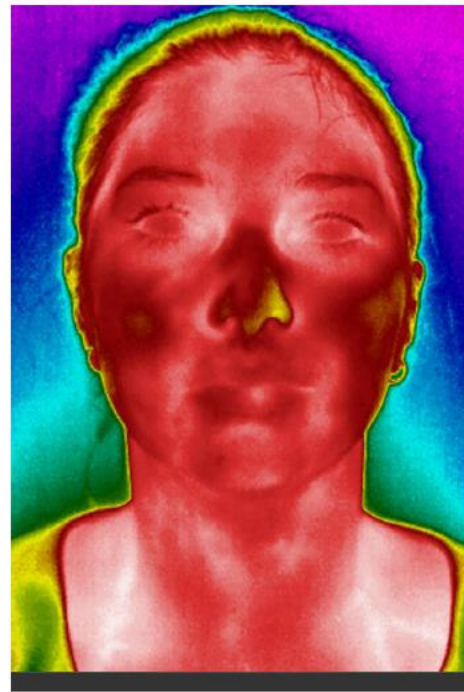
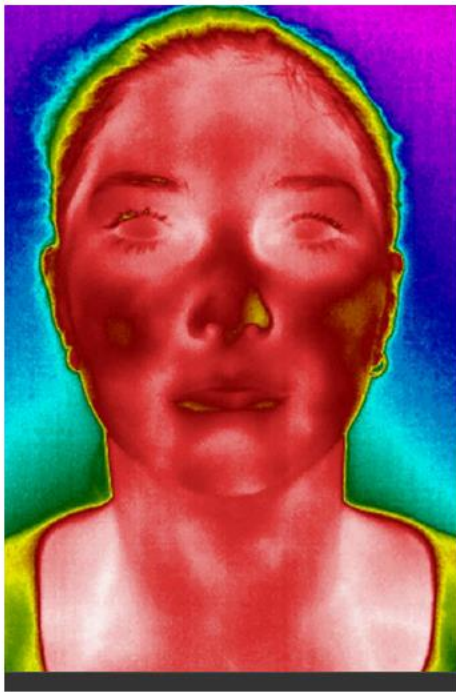
Po výstupu ze sauny



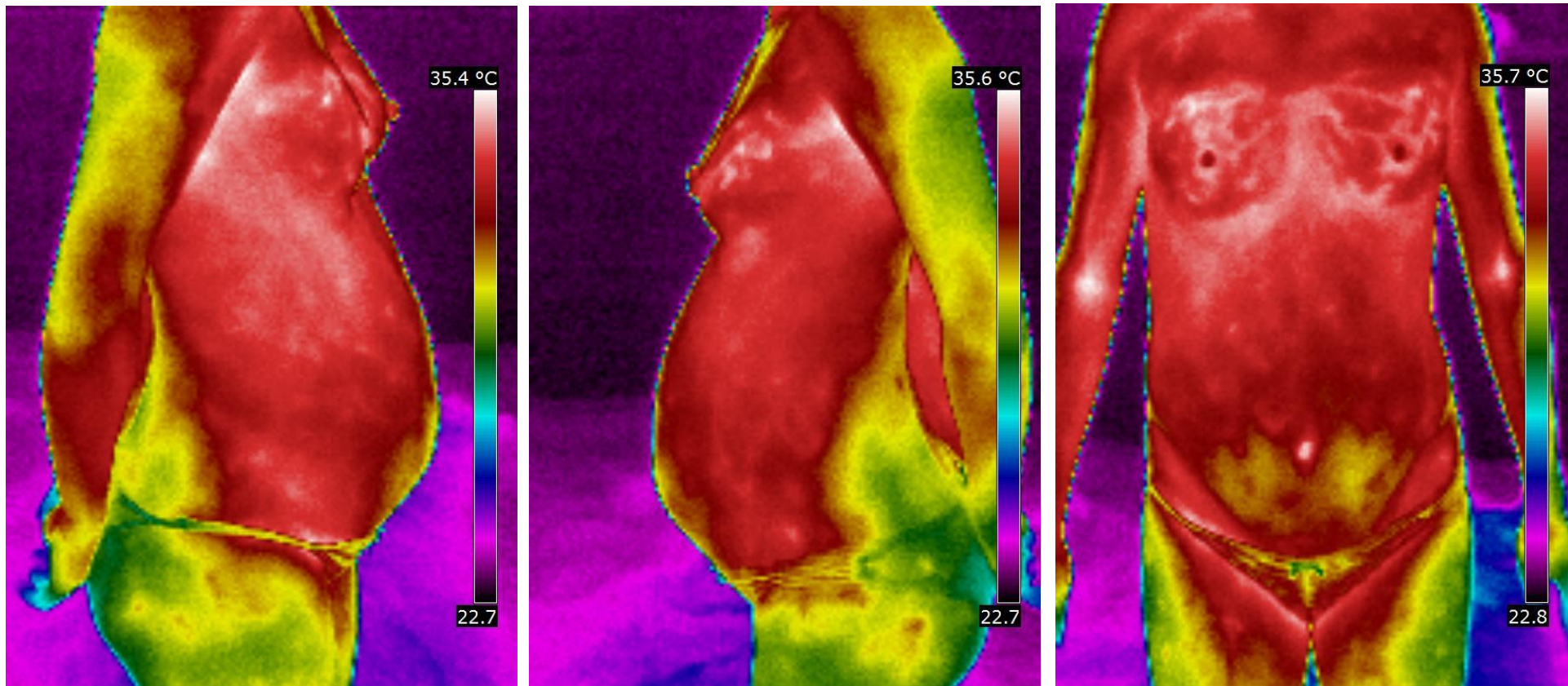
Po ochlazení ve vodě

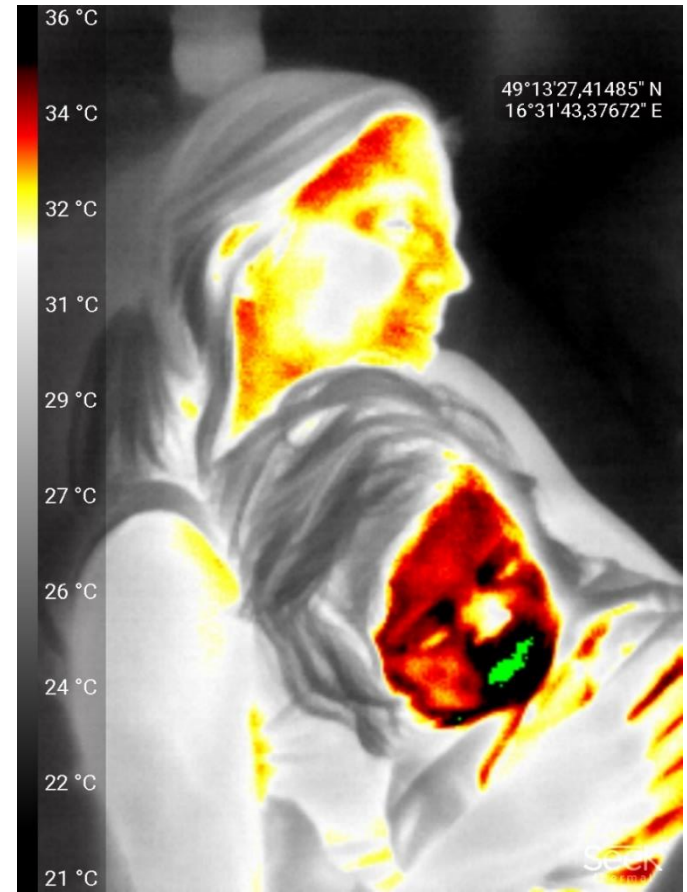
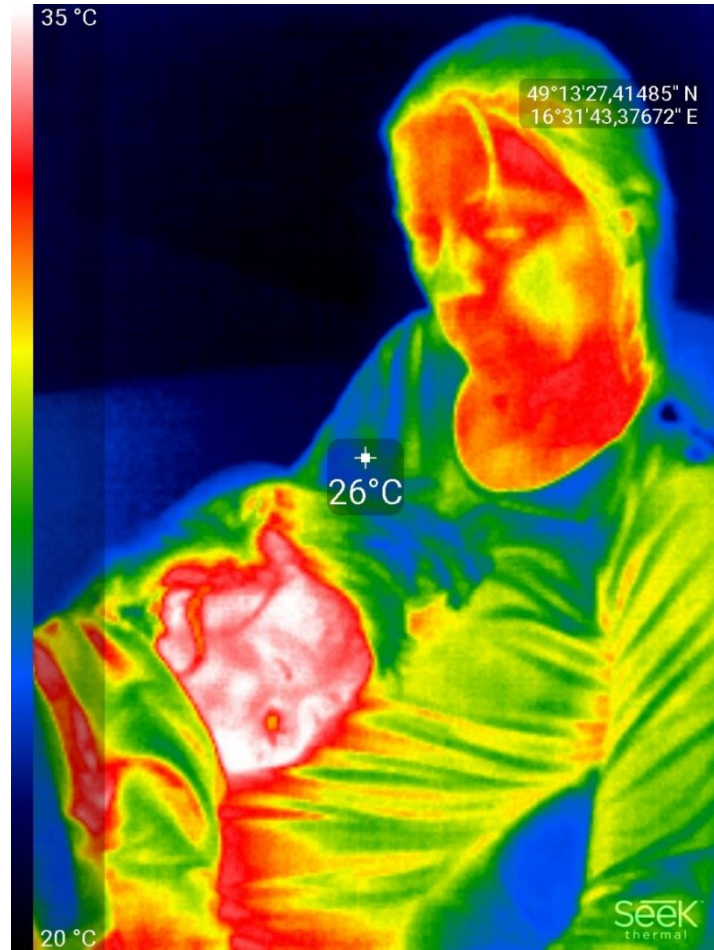
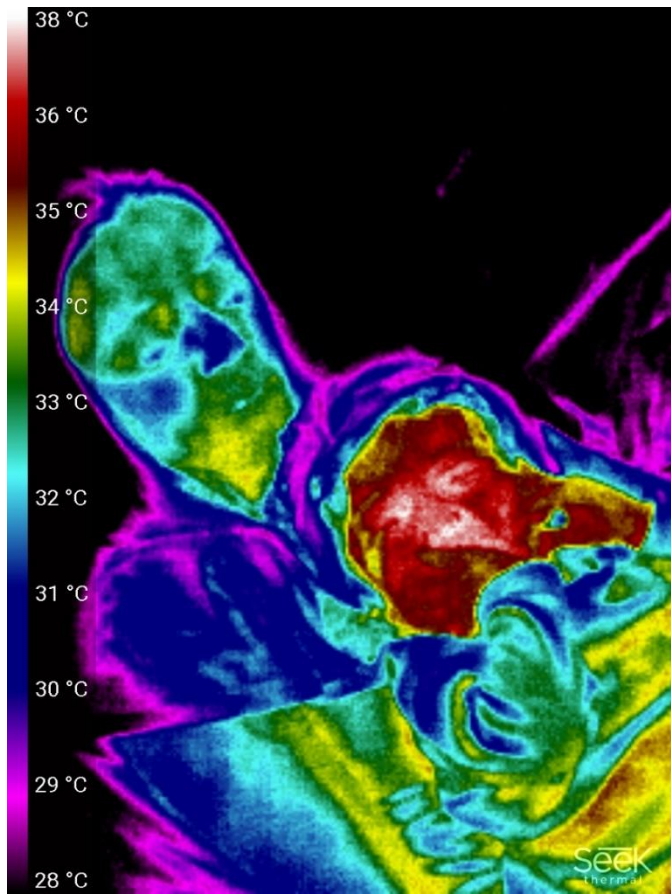


Končetiny po chladovém testu

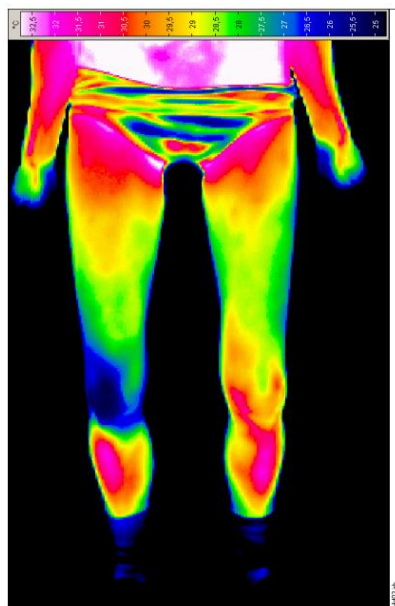
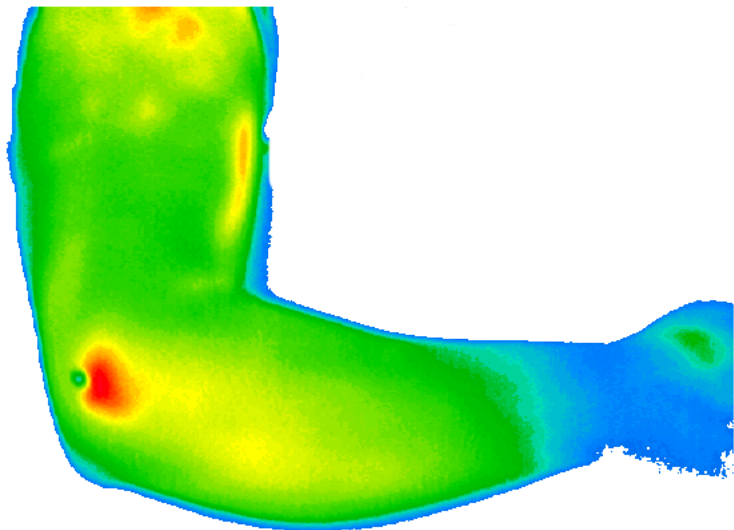


2. trimestr těhotenství

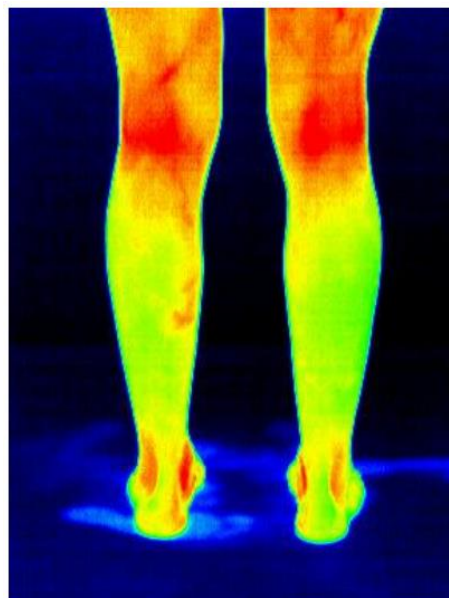




Tenisový loket

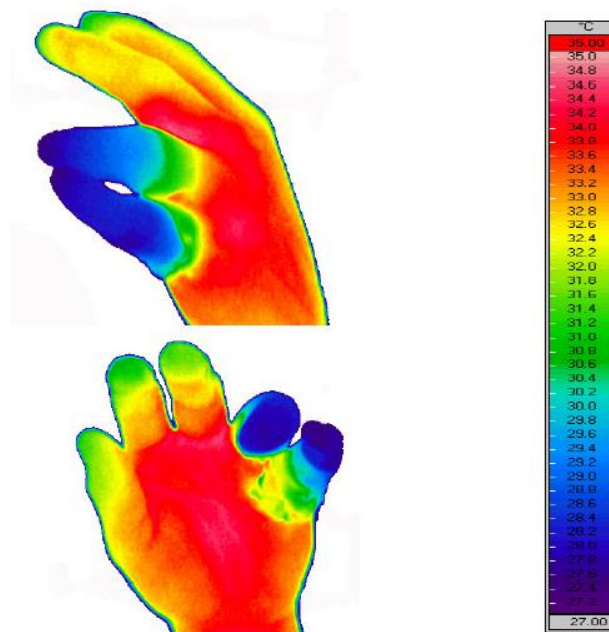


Artritida I. kolena



Varixy

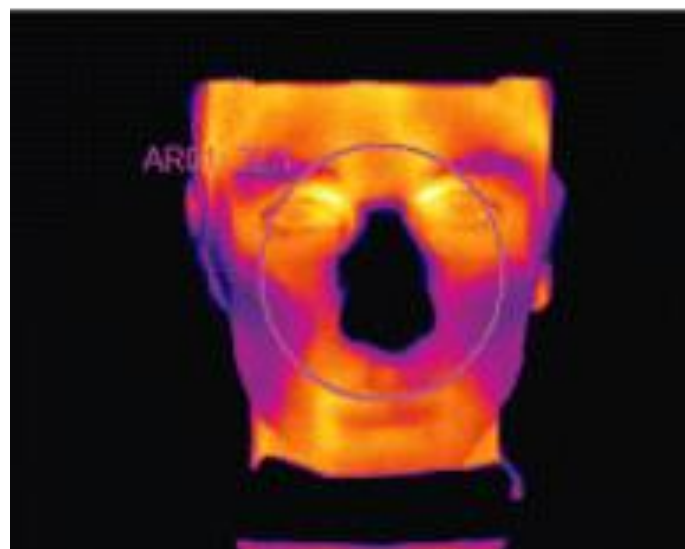
Amputace prstů



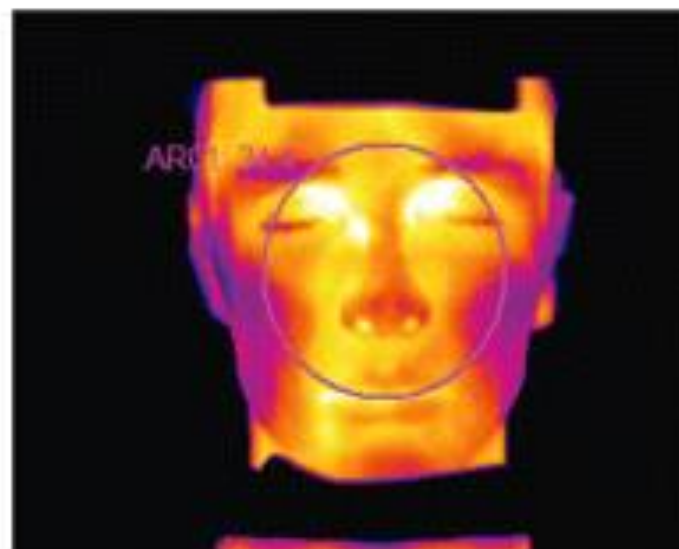
Alergie

– Sledování antihistaminické aktivity

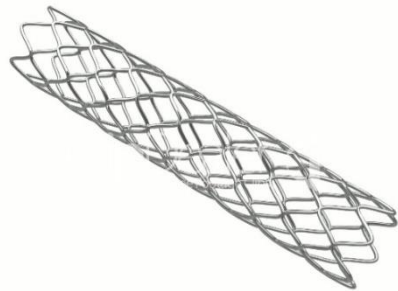
before provocation



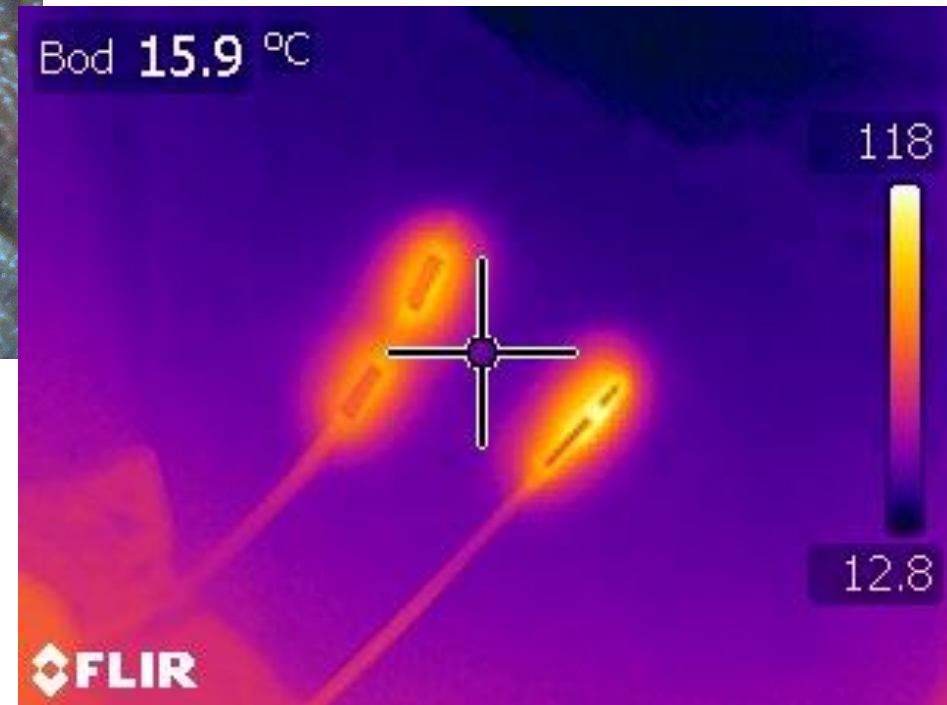
after provocation

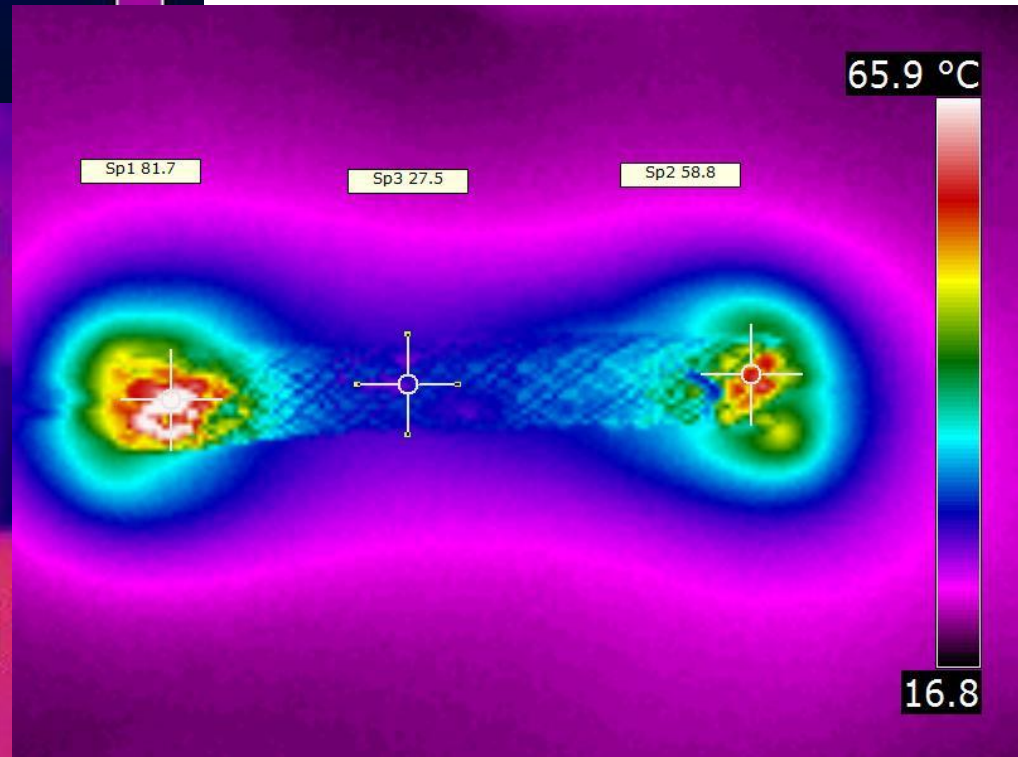
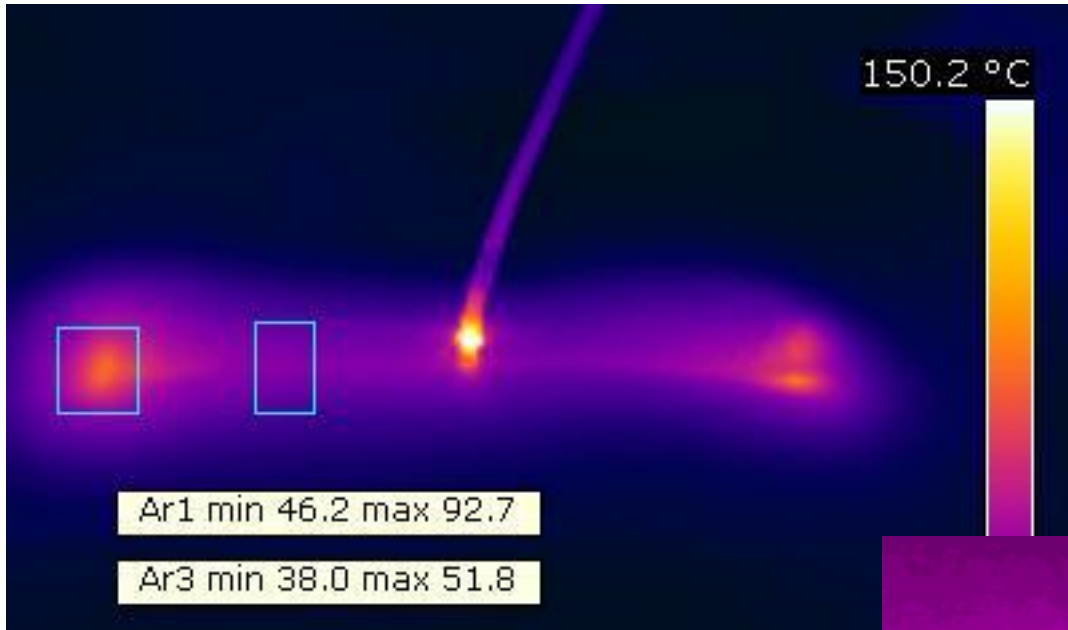


Termoablace tkáně

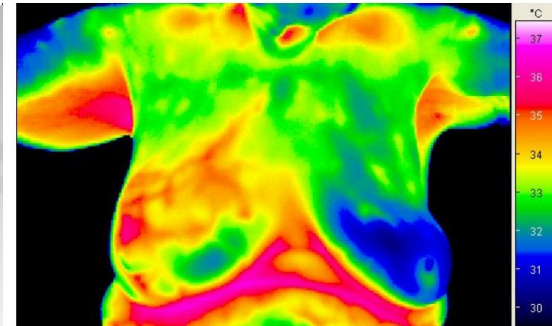
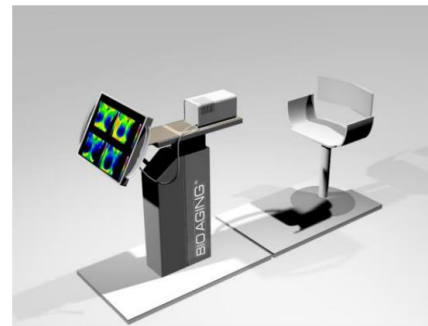
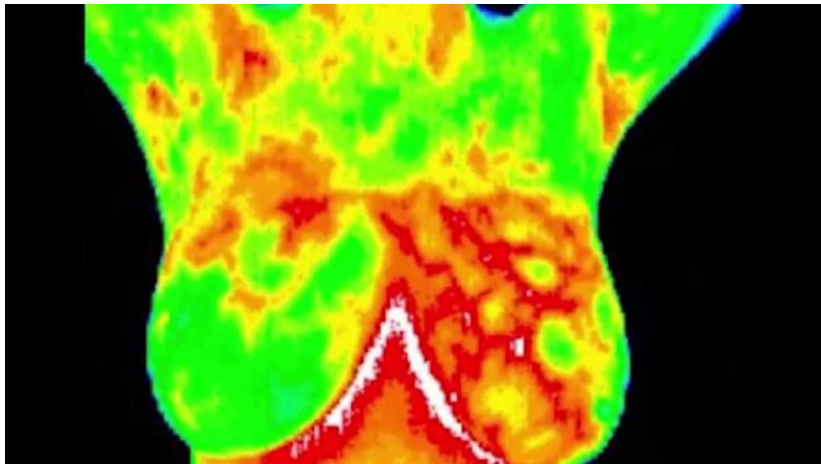
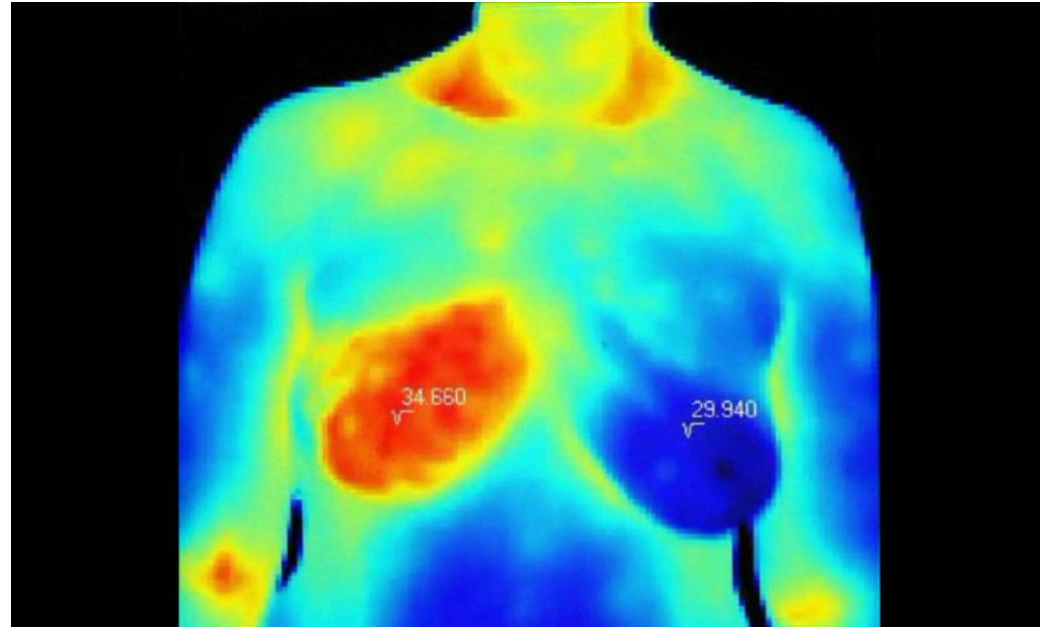
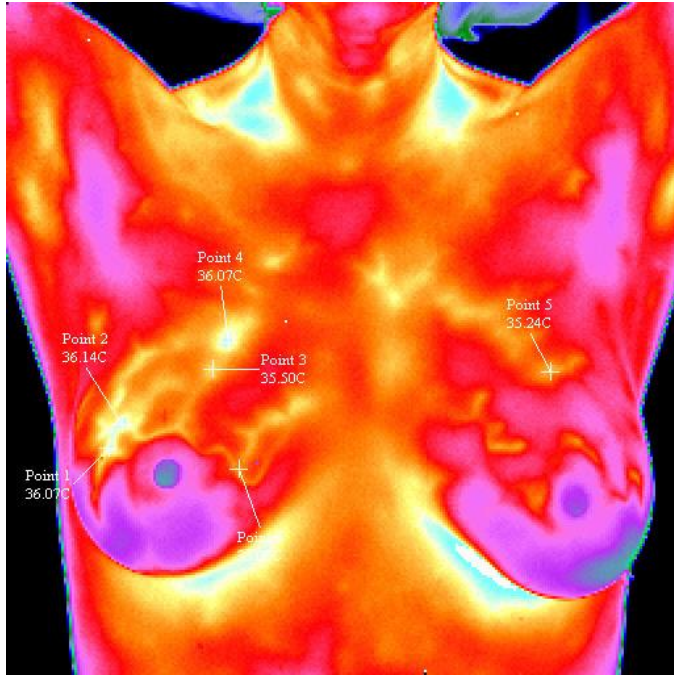


spolupráce
Biofyzikální ústav LF MU
Radiologická klinika FN Brno



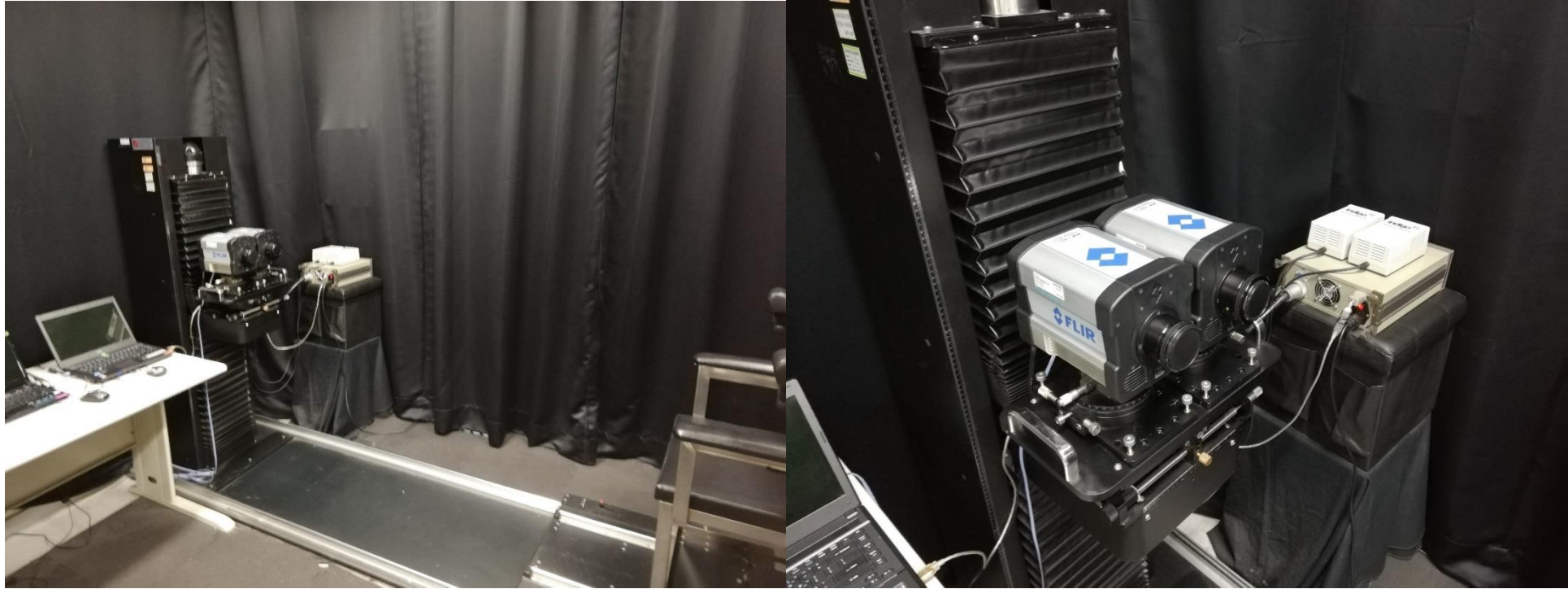


Detekce karcinom prsu

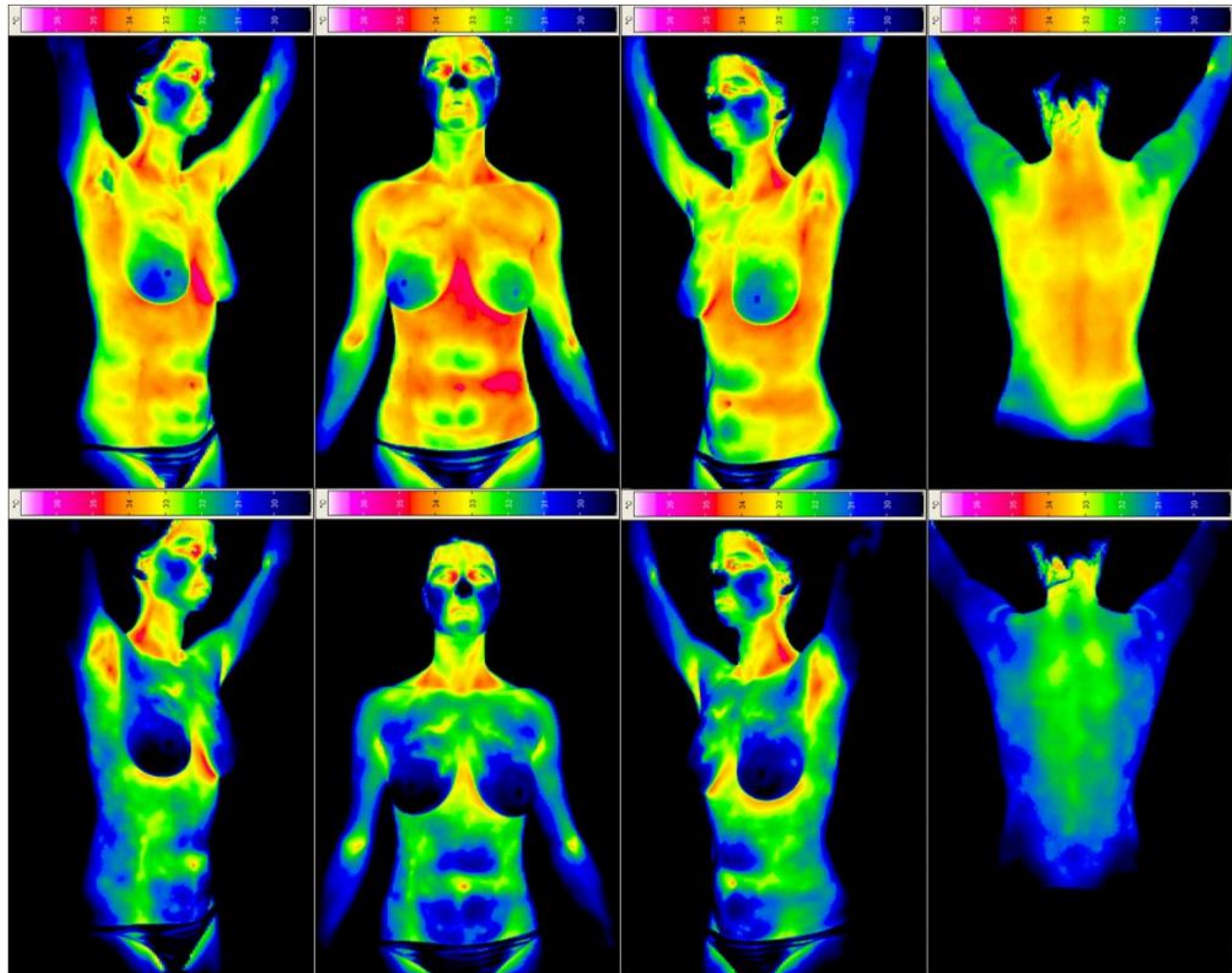


"BreastCancerRightSample1" by Philiphoekstra (talk) (Uploads) - Transferred from en.wikipedia to Commons.. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons - <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:BreastCancerRightSample1.jpg#mediaviewer/File:BreastCancerRightSample1.jpg>

National Taiwan University – Imaging center

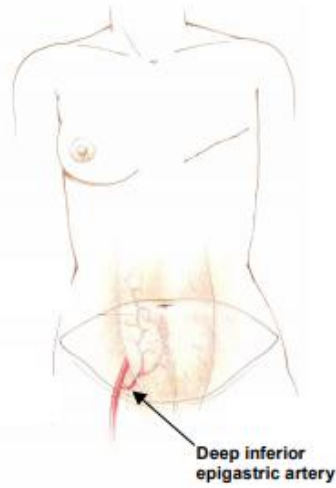


Dynamická termografie

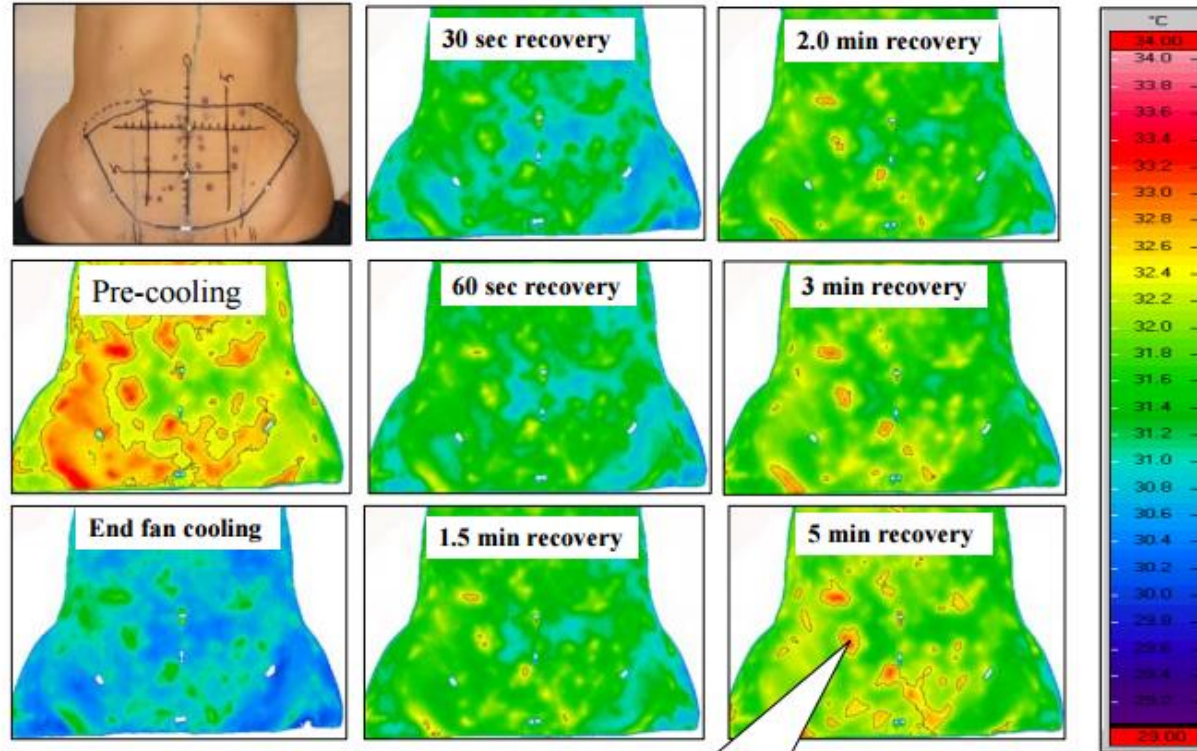
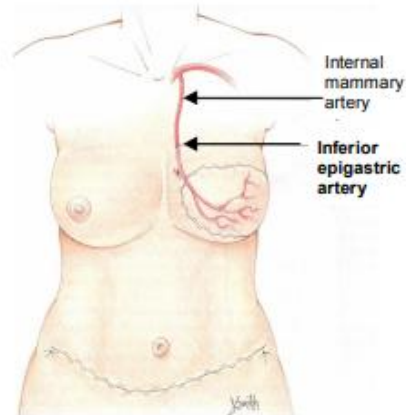


Visualization of perforating blood vessels with dynamic IR-thermography

Pre-operative

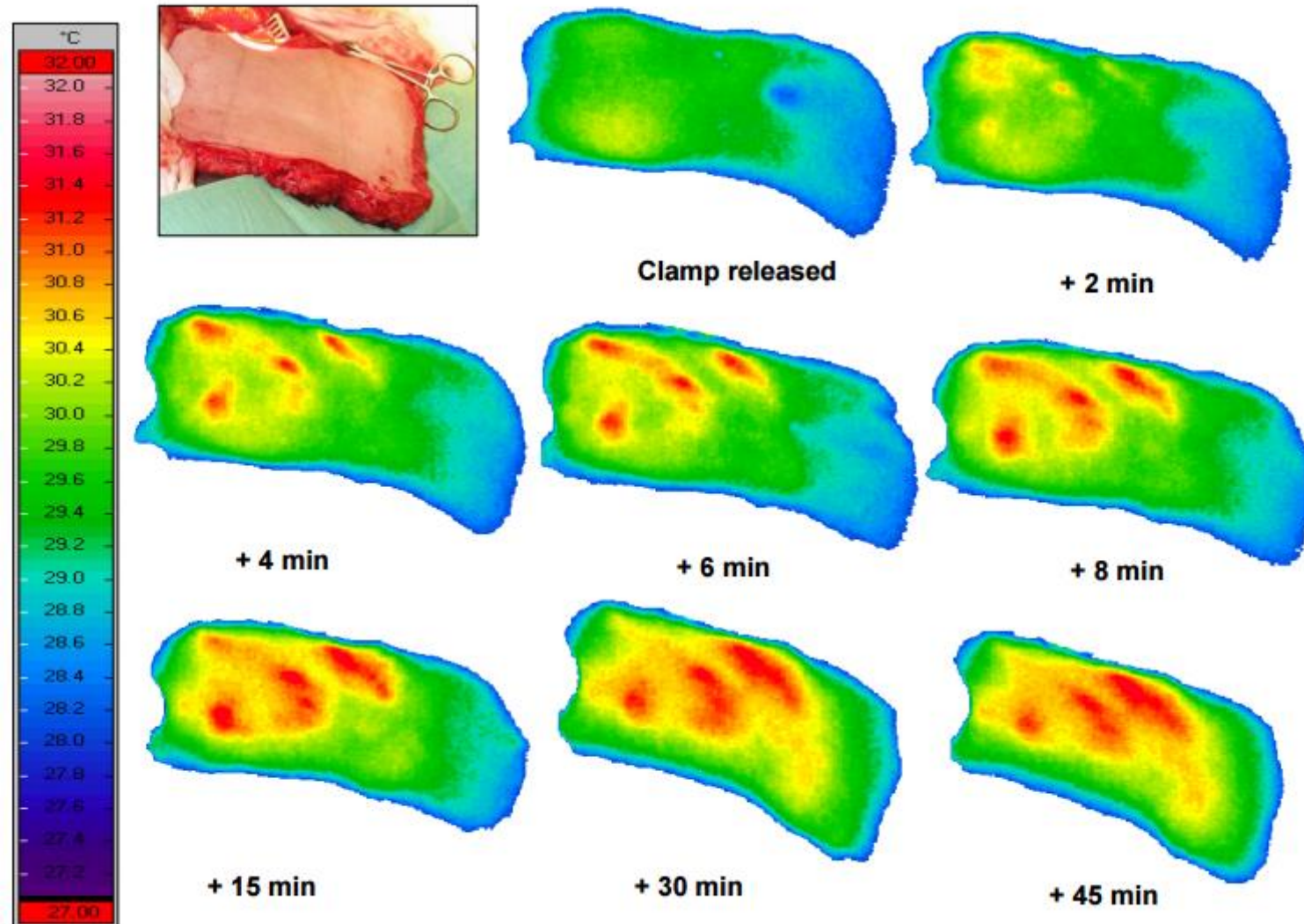


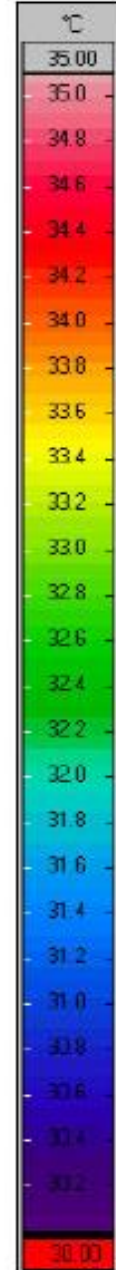
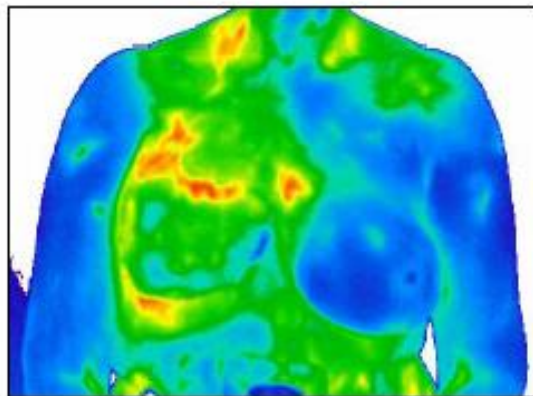
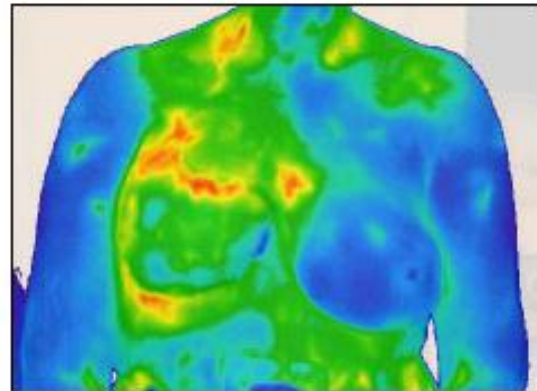
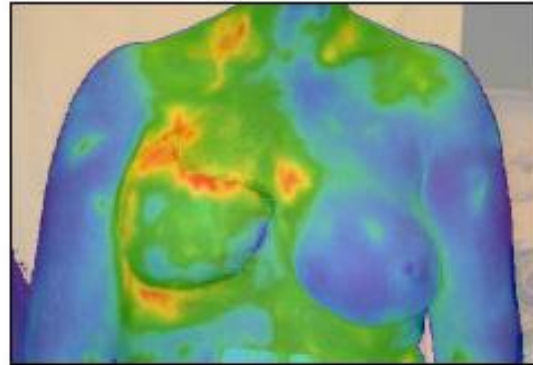
Post-operative



perforating blood vessel

Infrared thermal imaging and autologous breast reconstruction surgery





6 dní po resekci

Efekt prolnutí
snímků

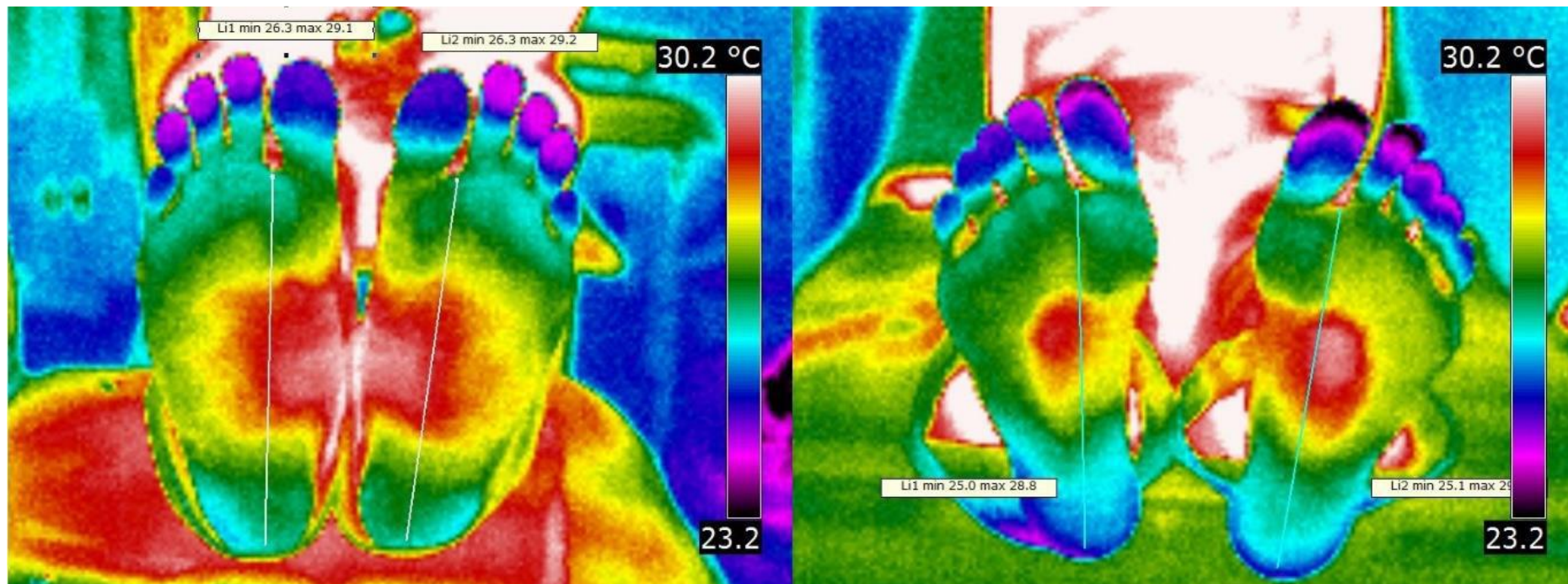
Mercer J. Medical Imaging Research Group, Department of
Clinical Medicine, Faculty of Health Sciences, UiT - The
Arctic University of Norway, Tromsø

MUNI
MED

Ischemická choroba dolních končetin

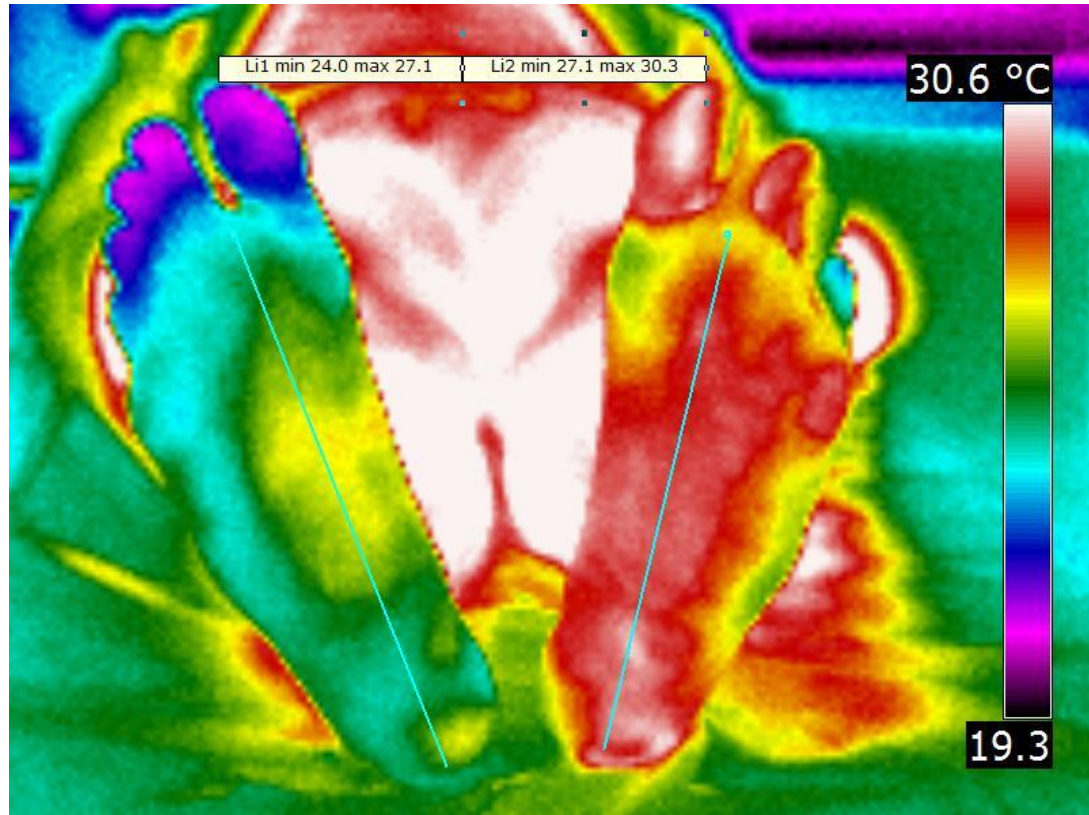
spolupráce
Biofyzikální ústav LF MU
Radiologická klinika FN
Brno

Teplota končetin u zdravé populace: průměrný rozdíl
 $\leq 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$



Příklad končetinové ischemie

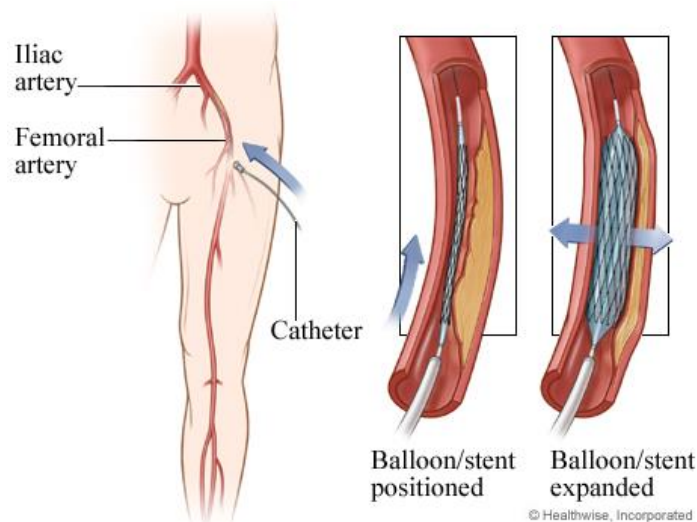
- Muž 46 let, kuřák
- Klaudikace 200m, přítomny klidové bolesti
- Pulsace: bilat. AF+, AP+, LDK: ADP+, ATP+, PDK: ADP+, ATP+ (slabě)
- Snímek před provedením PTA
- **Průměrný rozdíl teplot $\Delta T = 3,3$ °C**



Hodnocení revaskularizace dolních končetin

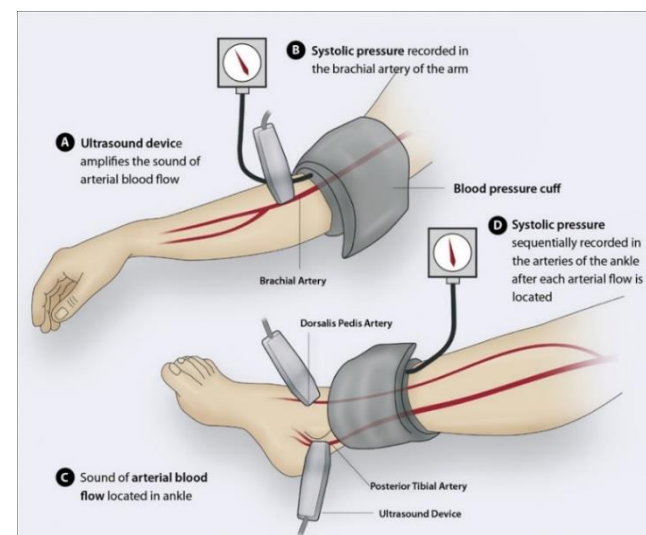
Revaskularizace pomocí endovaskulární intervence

- Hospitalizace indikována na základě klaudikací a CTAg vyšetření
- Termogram pořízen při hospitalizaci pacienta a dva dny po zákroku
- Zároveň stanovena hodnota ABI (index kotník-paže), $\geq 0,9$
- Pozorovány byly změny mezi končetinami po revaskularizačním zákroku



Demografická data pacientů

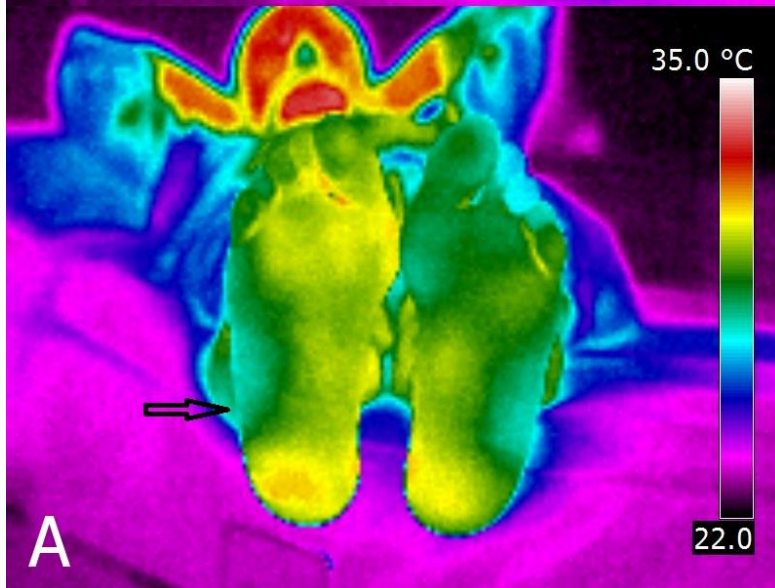
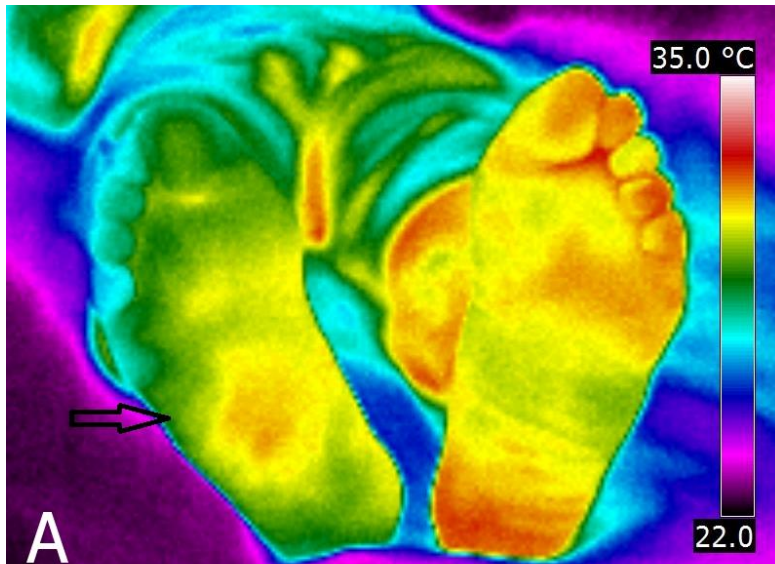
Pohlaví	
Muži	14 (66,7 %)
Ženy	7 (33,3 %)
Průměrný věk	66,2 ± 19,7
Věkový rozsah	47 až 76
Kouření	17 (81,0 %)
Diabetes mellitus	6 (28,6 %)



PDK: prům. T= 30,8 °C
LDK: prům. T= 31,5 °C

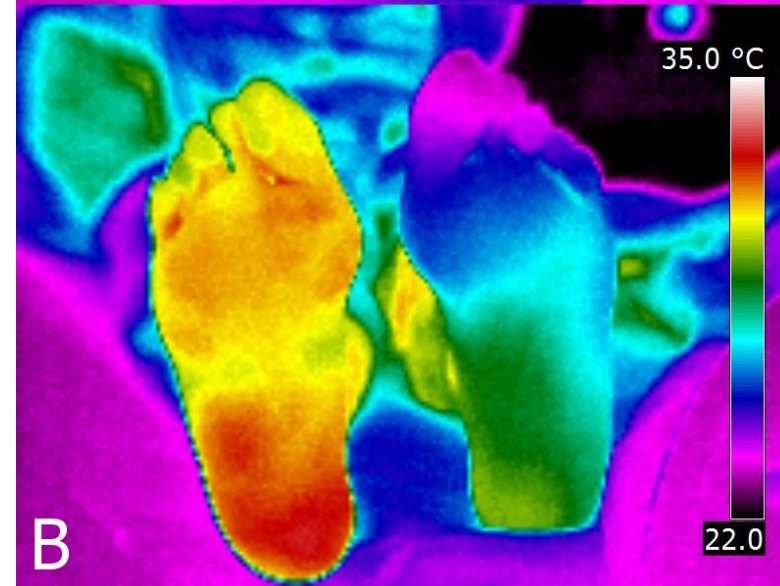
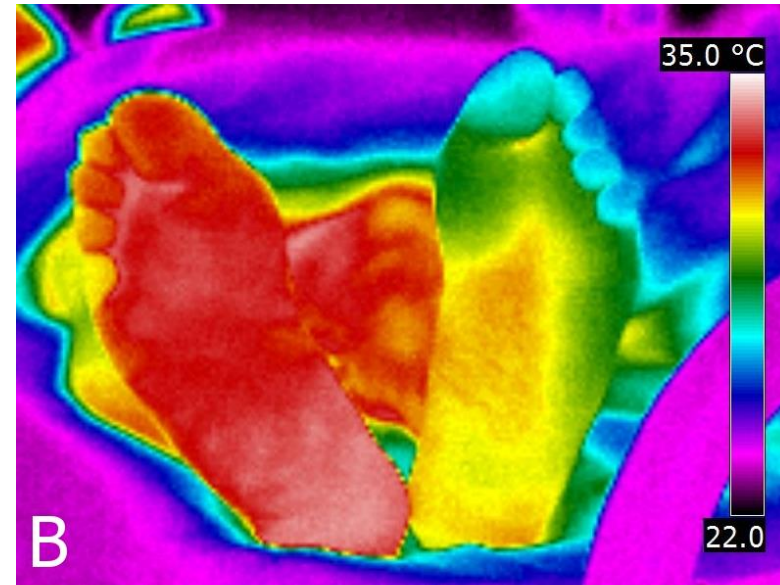
Výsledky – klinická část

PDK: prům. T= 33,3 °C
LDK: prům. T= 30,9 °C



PDK: prům. T= 30,3 °C
LDK: prům. T= 29,6 °C

PTA



PDK: prům. T= 31,6 °C
LDK: prům. T= 28,0 °C

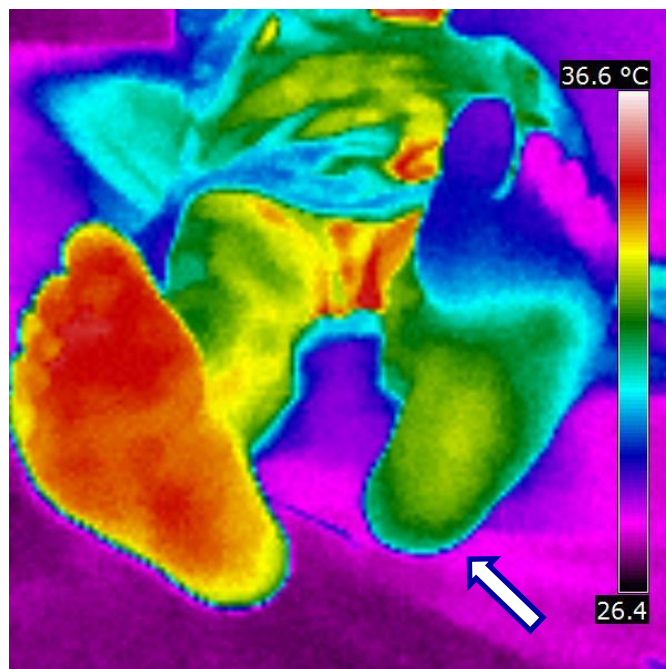
Hodnocení revaskularizace dolních končetin

Angiochirurgická revaskularizace (bypass)

- Hospitalizace indikována na základě klaudikací a CTAg vyšetření
- Termogram pořízen při hospitalizaci pacienta a dva dny po zákroku
- Zároveň stanovena hodnota ABI (index kotník-paže), $\geq 0,9$ a hodnota transkutánní tenze kyslíku ($TcPO_2$)
- Pozorovány byly změny mezi končetinami po revaskularizačním zákroku

Demografická data pacientů

Pohlaví	
Muži	9 (64,3 %)
Ženy	5 (35,7 %)
Průměrný věk	67,8 ± 5,7
Věkový rozsah	59 až 82
Kouření	9 (64,3 %)
Diabetes mellitus	7 (50,0 %)

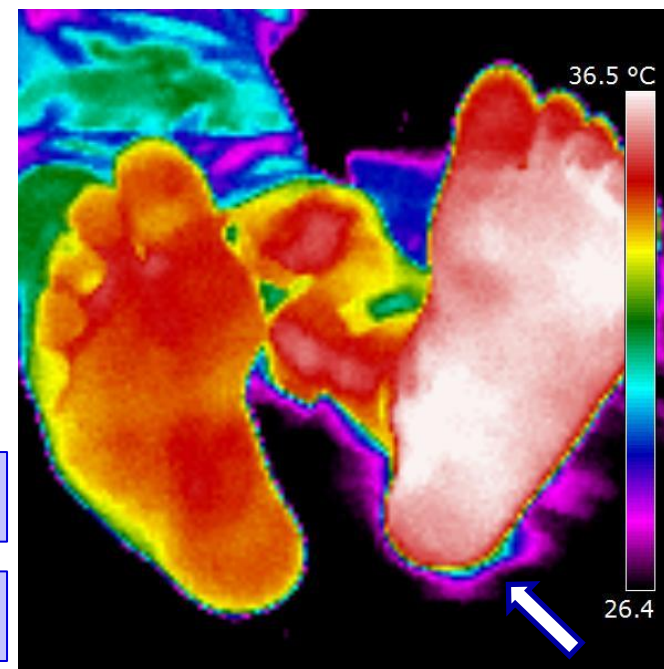


bypass



PDK: prům. T= 34,3 °C
LDK: prům. T= 31,4 °C

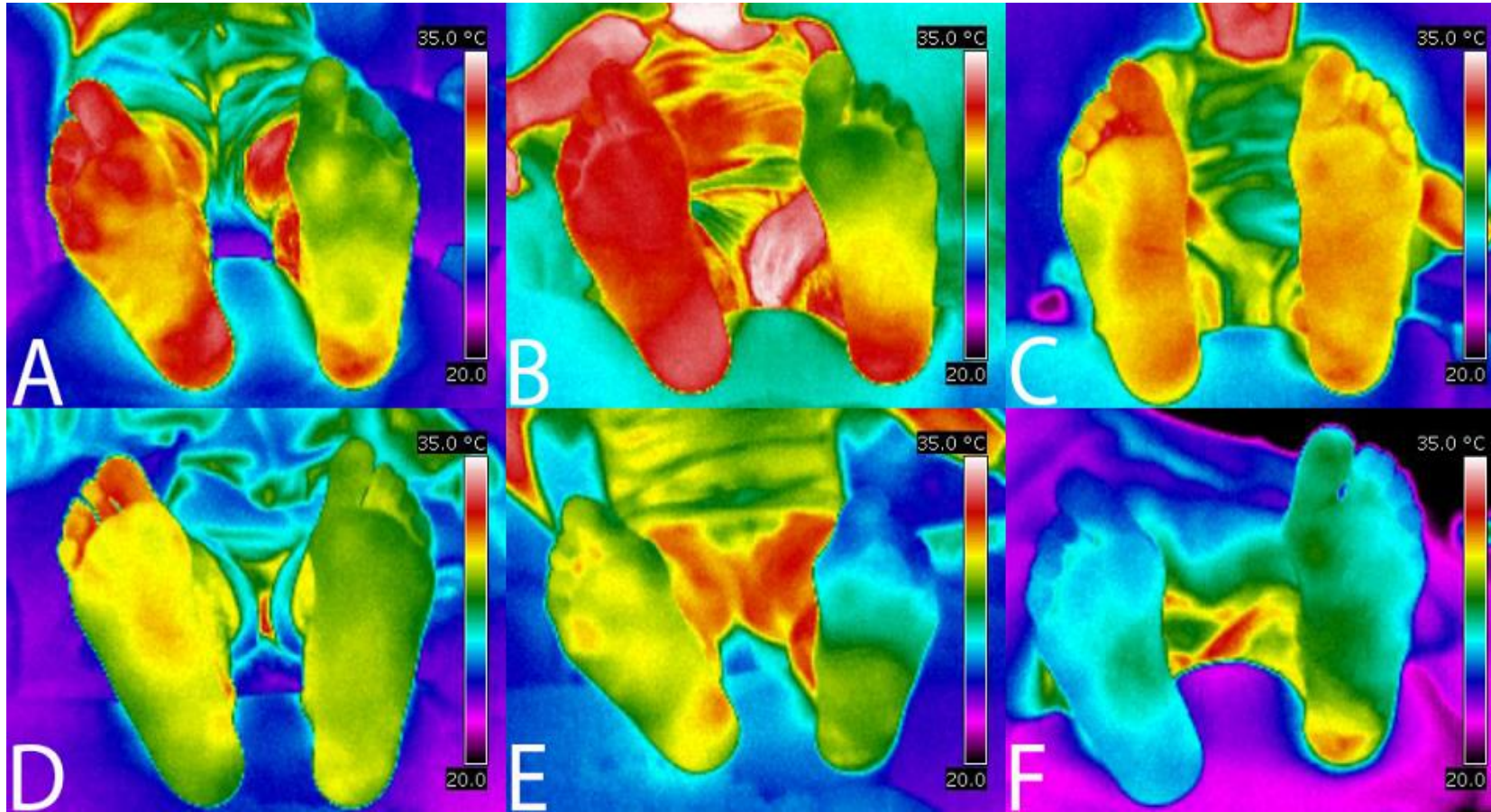
PDK: prům. T= 34,5 °C
LDK: prům. T= 36,1 °C



Kazuistika: dlouhodobé sledování pacienta s DM II.

- Muž 76 let, DM II, nekuřák
- Klaudikace a klid. bolesti neuvádí
- Pulsace: bilat. UZ a. dorsalis pedis (ADP)
- Sledován v období 12 měsíců

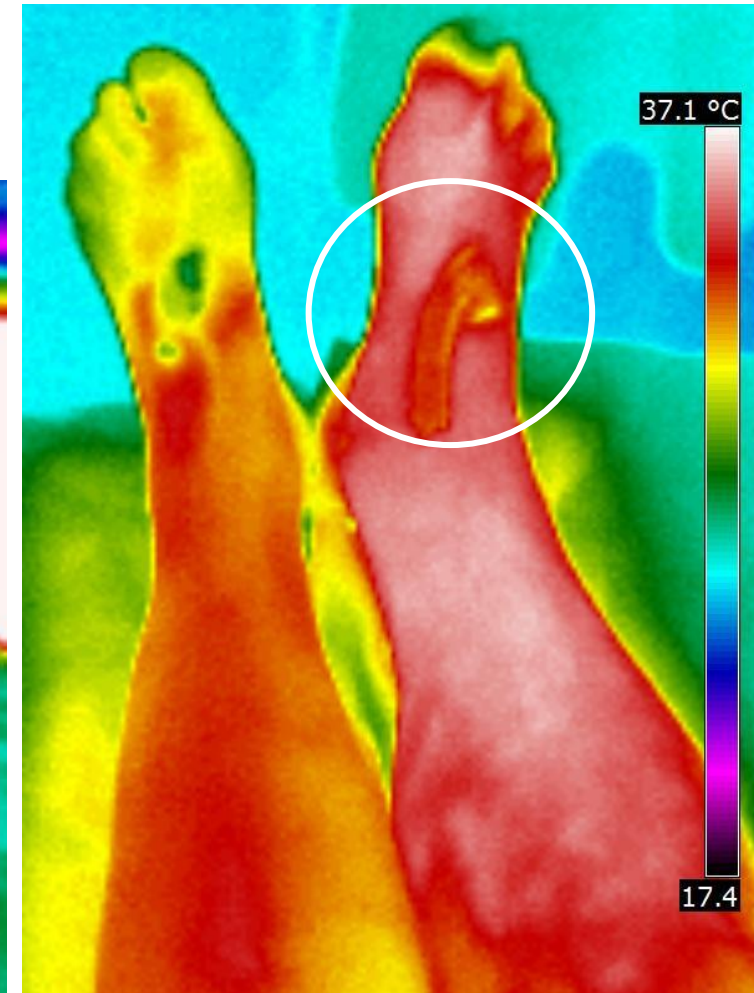
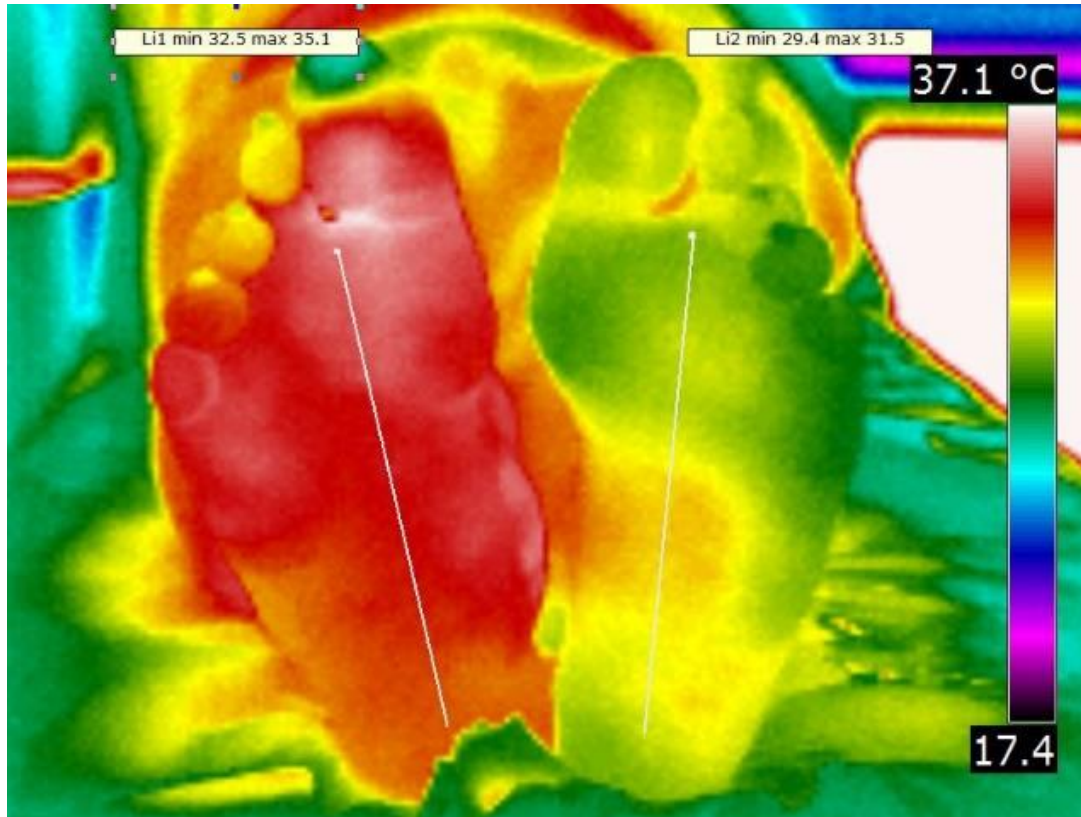
- **Obr. A:** průměrný rozdíl teplot $\Delta T = 1,8\text{ °C}$ mezi LDK a PDK
- **Obr C** – malý defekt na palci (nehtové lůžko) LDK
- **Obr E** → **F** revaskularizace PTA (palec LDK zhojení)
- **Obr. F** – teplejší ložisko paty LDK (dekubitus 1. stadium, po 2 měsících vznik defektu)



Kazuistika: končetina s defektem

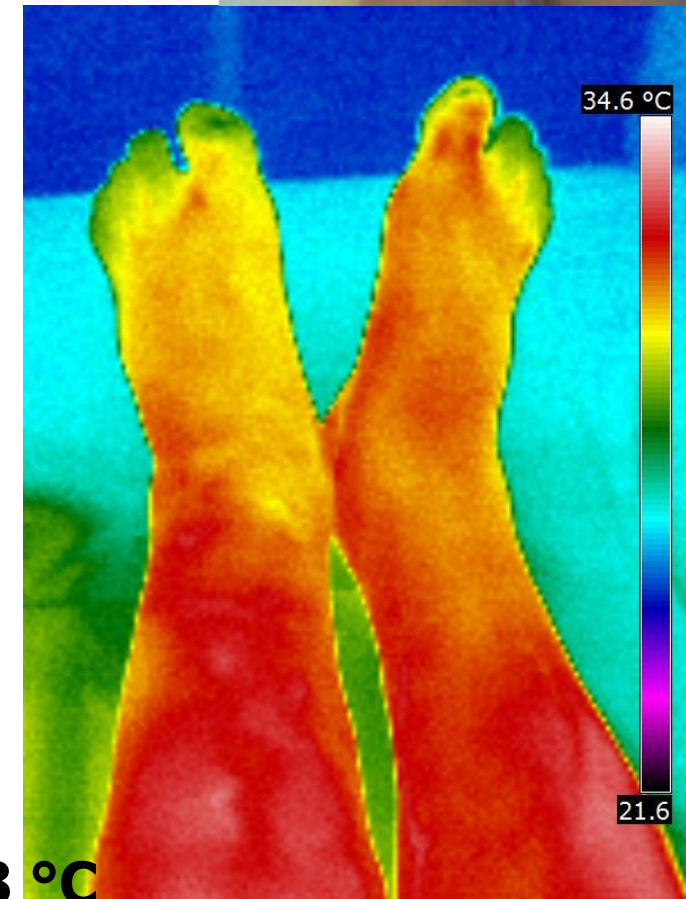
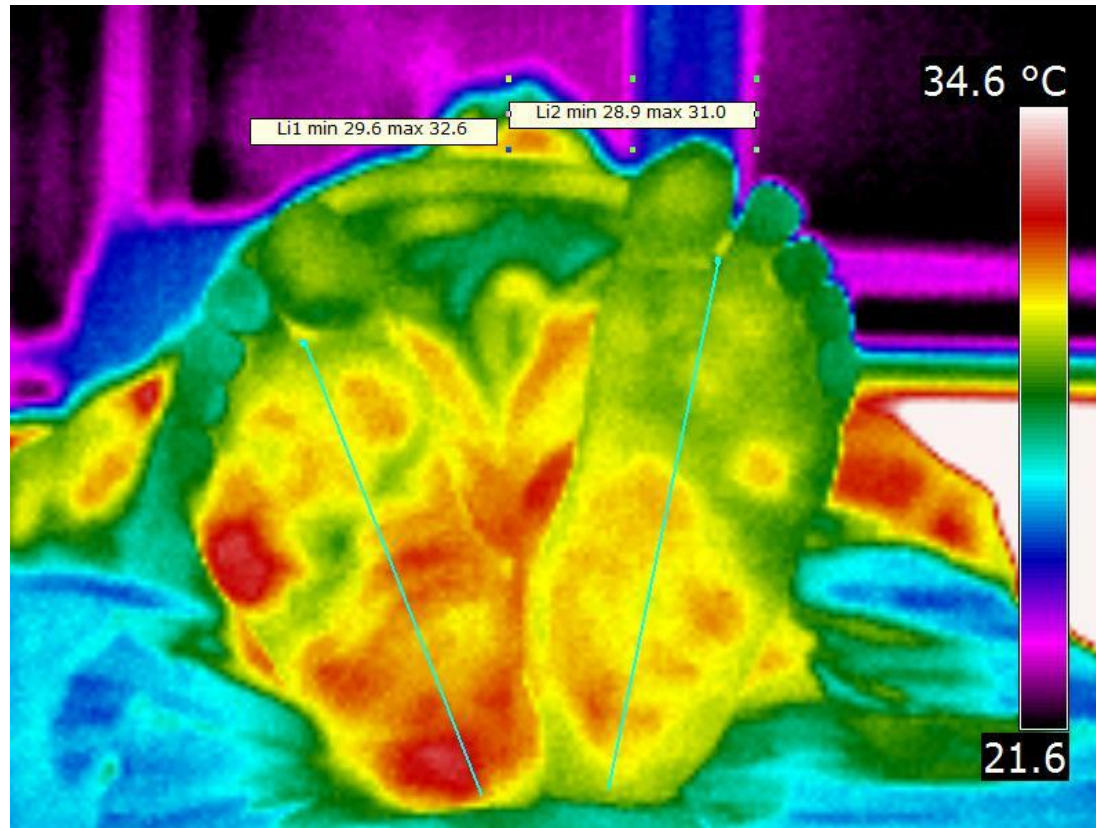
- Muž 68 let, DM II.
- Defekt palce PDK
- Bez klaudikací a klid. bolestí
- Pulsace bilat. AF+, AP+, ADP+, UZ ATP+
- LDK i PDK po FP bypass

- **Průměrný rozdíl teplot $\Delta T = 3,3 \text{ }^\circ\text{C}$**



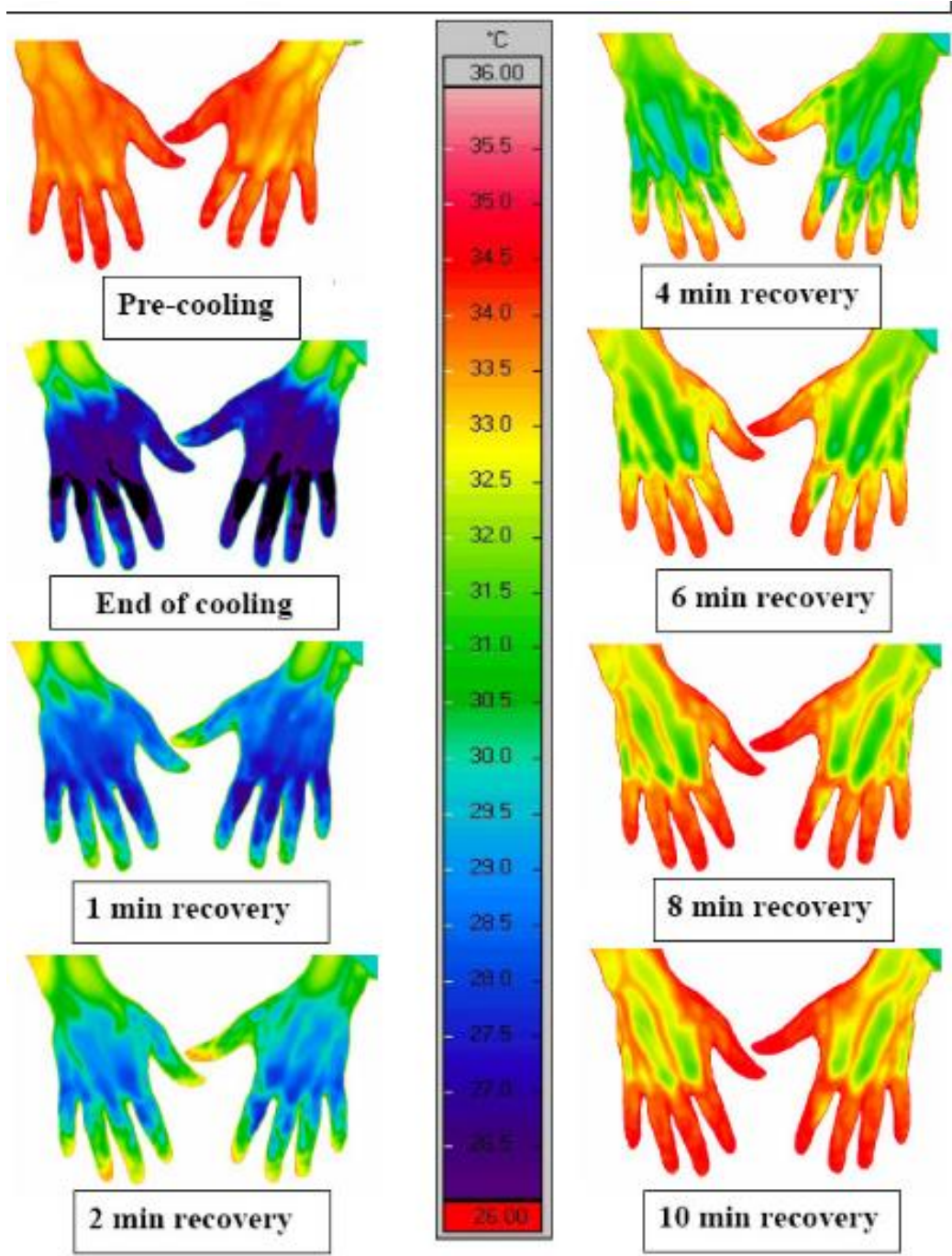
Kazuistika: Končetina s hojícím se defektem

- Muž 80 let, DM II.
- Klaudikace neudává
- Pulsace: bilat. AF+, AP+
- st.p. na LDK PTA AIC
- Hojící se defekt palce na LDK

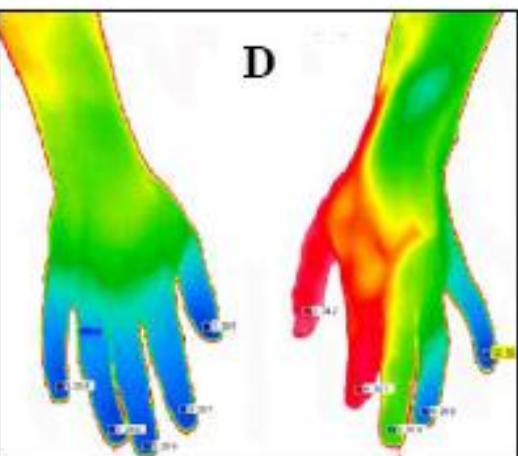
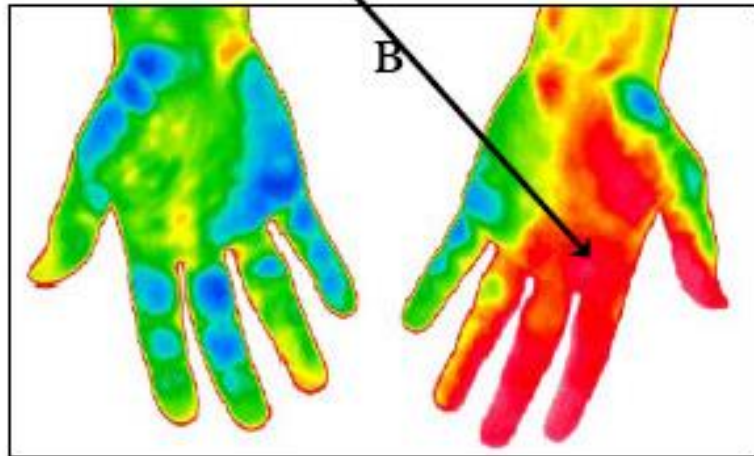
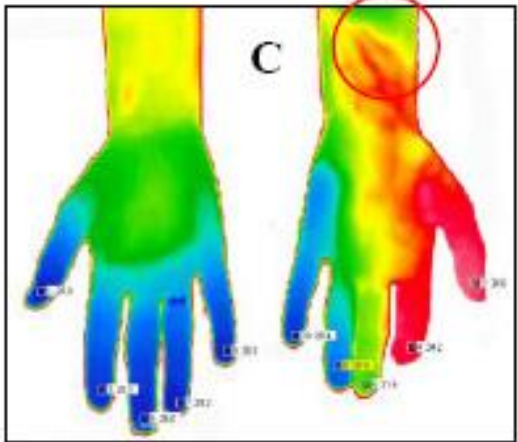
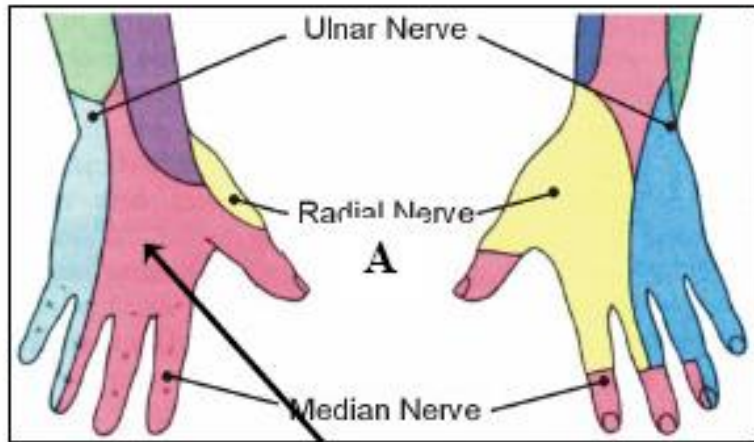


Průměrný rozdíl teplot $\Delta T = 0,8$ °C

Raynaudův syndrom

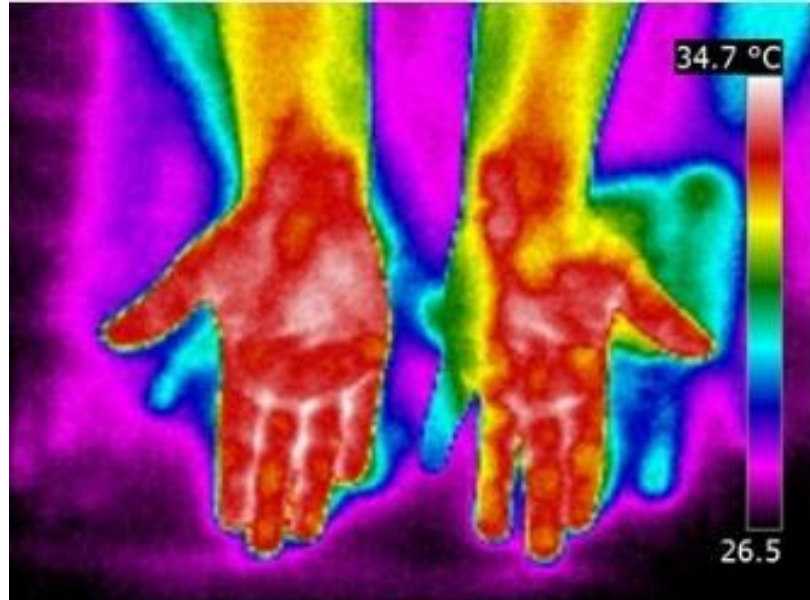


Nerve block and hand injury



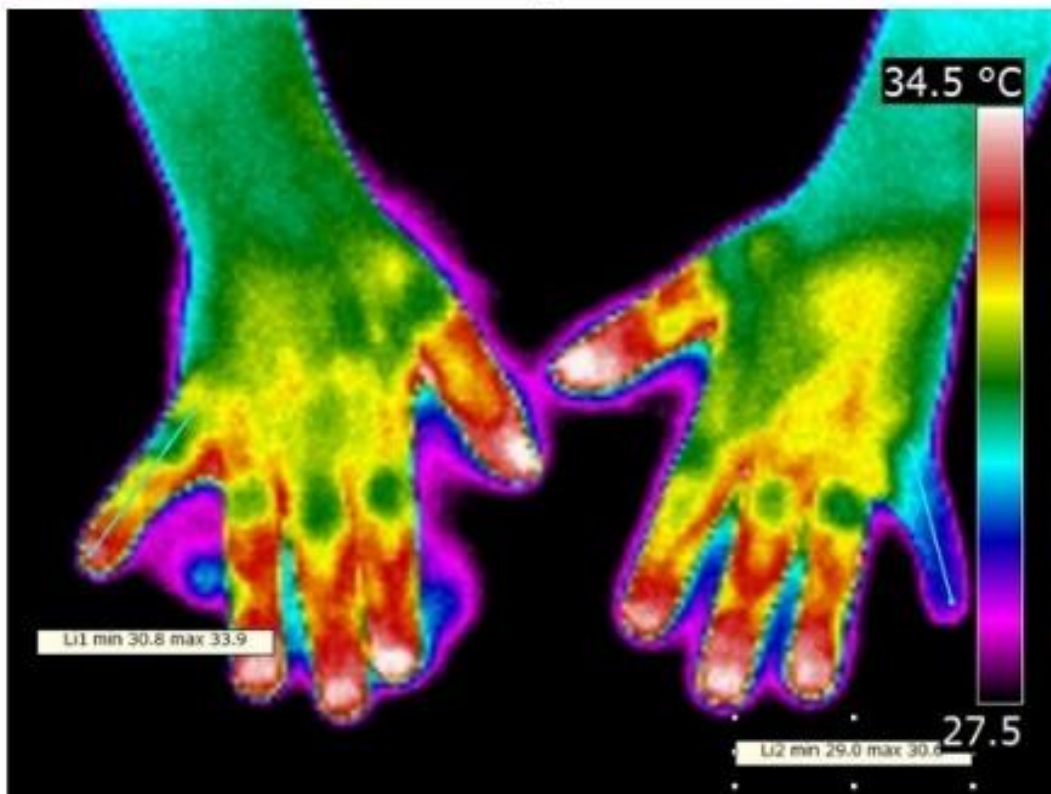
Nerve block
left median nerve

Stab injury
(red circle)



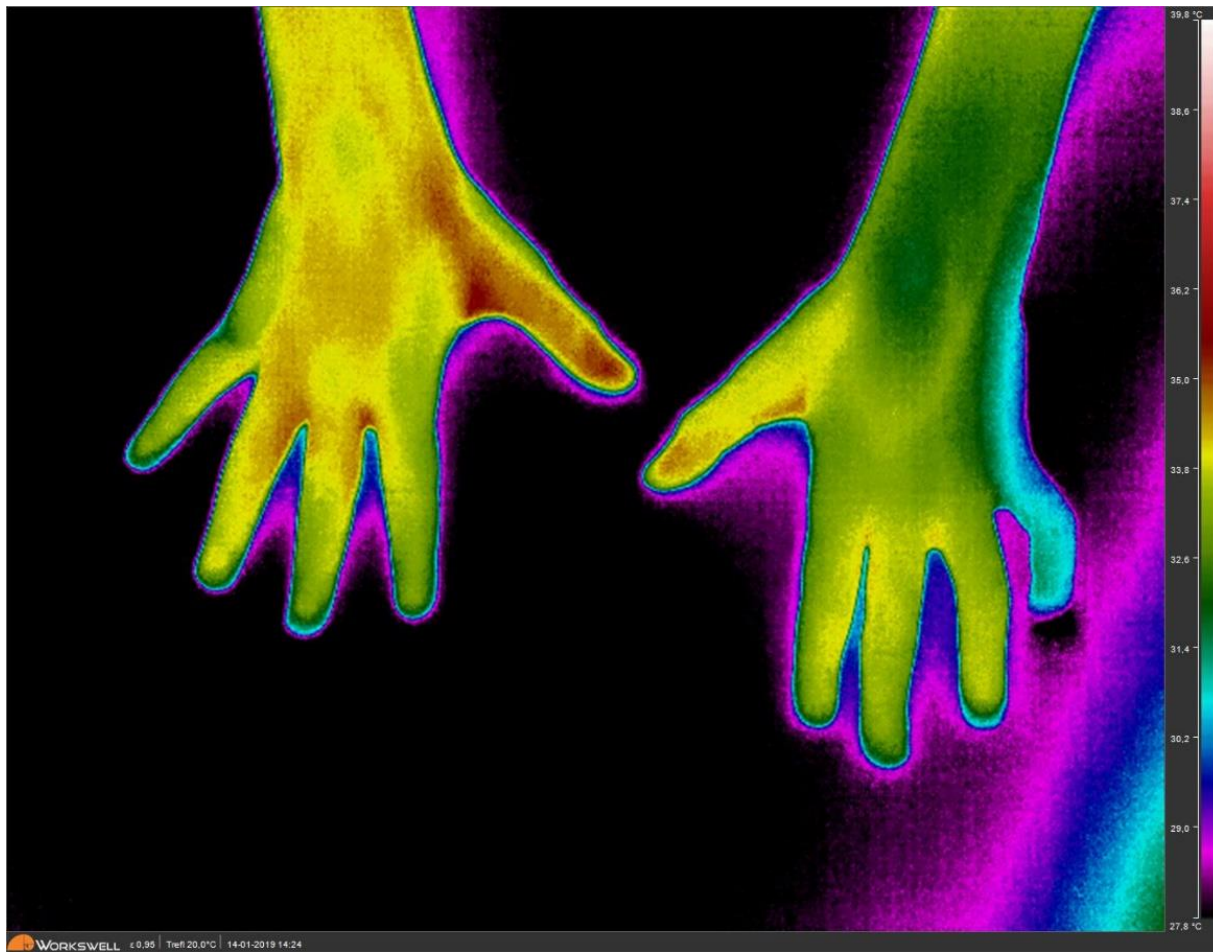
spolupráce
Biofyzikální ústav LF
Dětská neurologická
klinika, FN Brno

Paréza n. ulnaris

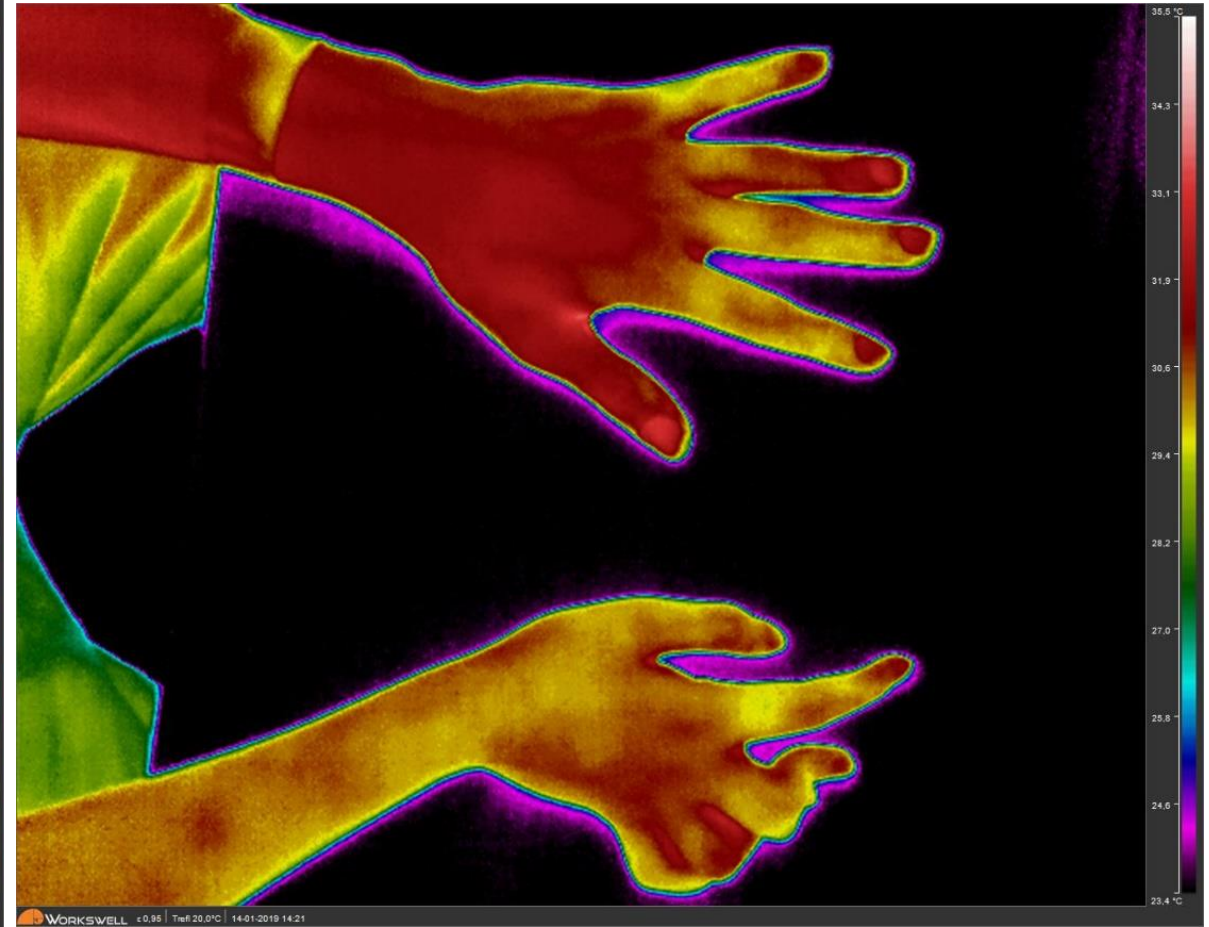
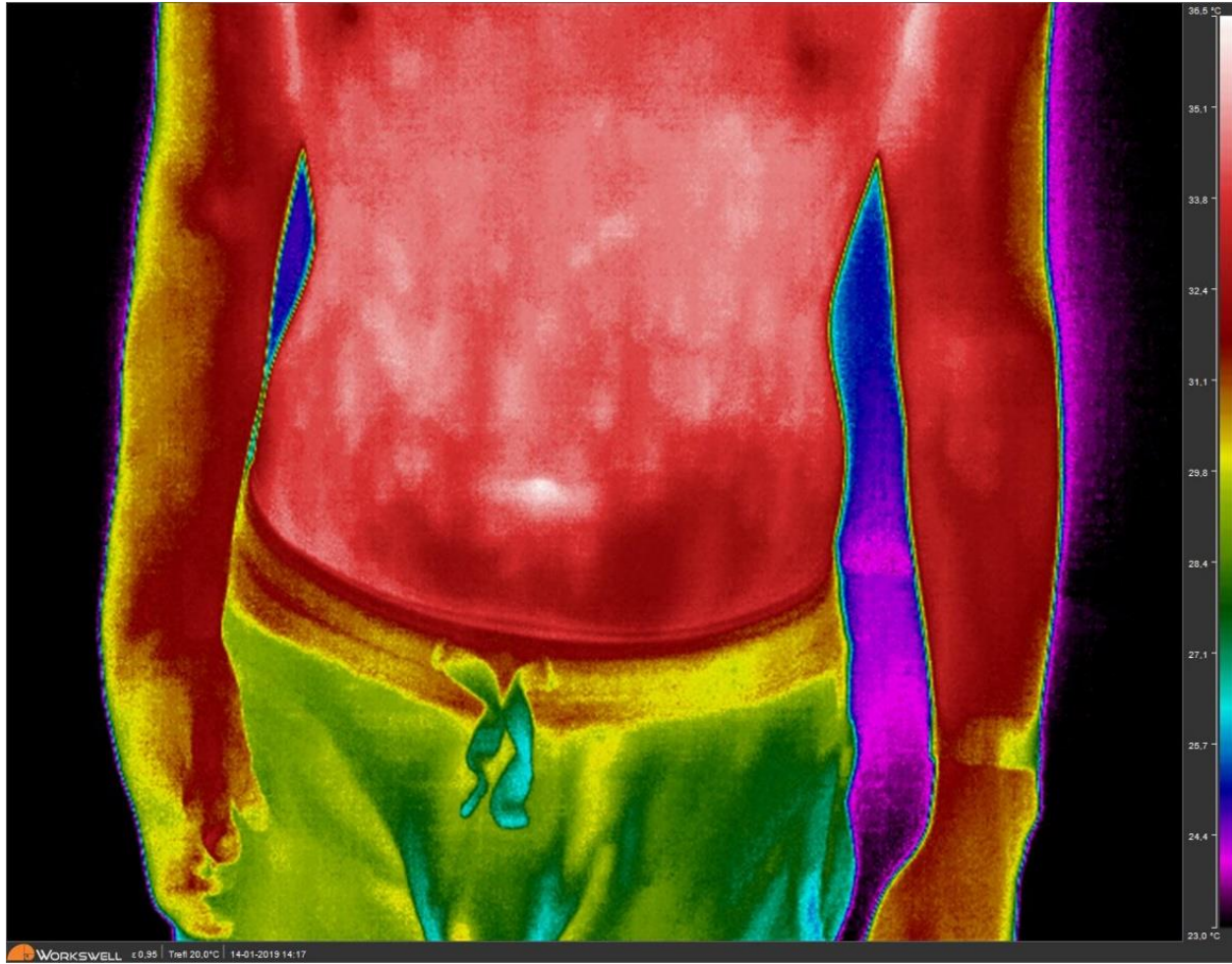


Li1 prům
32,3 °C

Li2 prům
29,7 °C



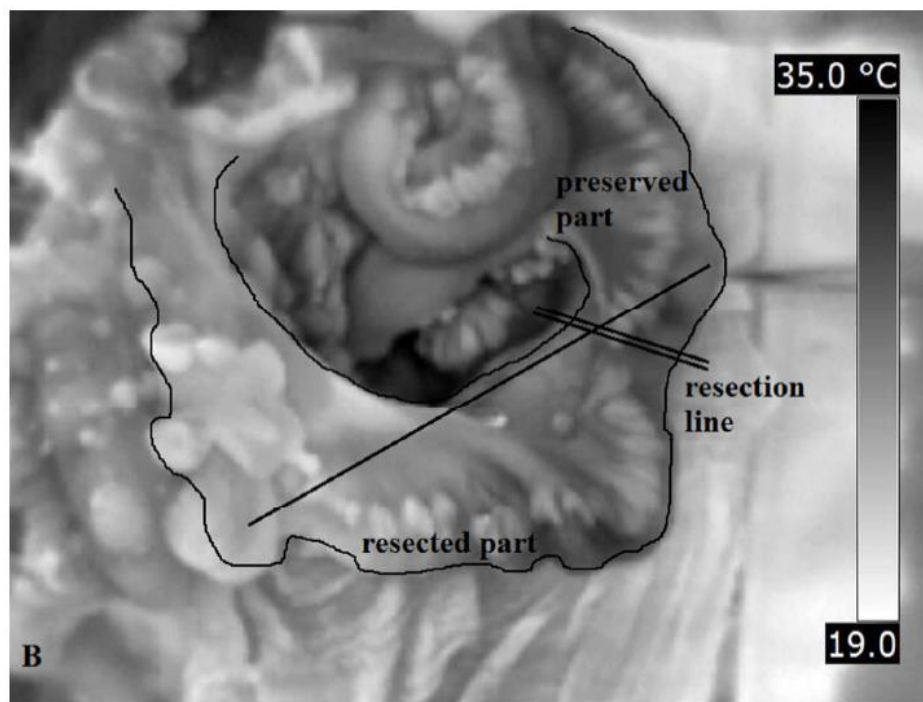
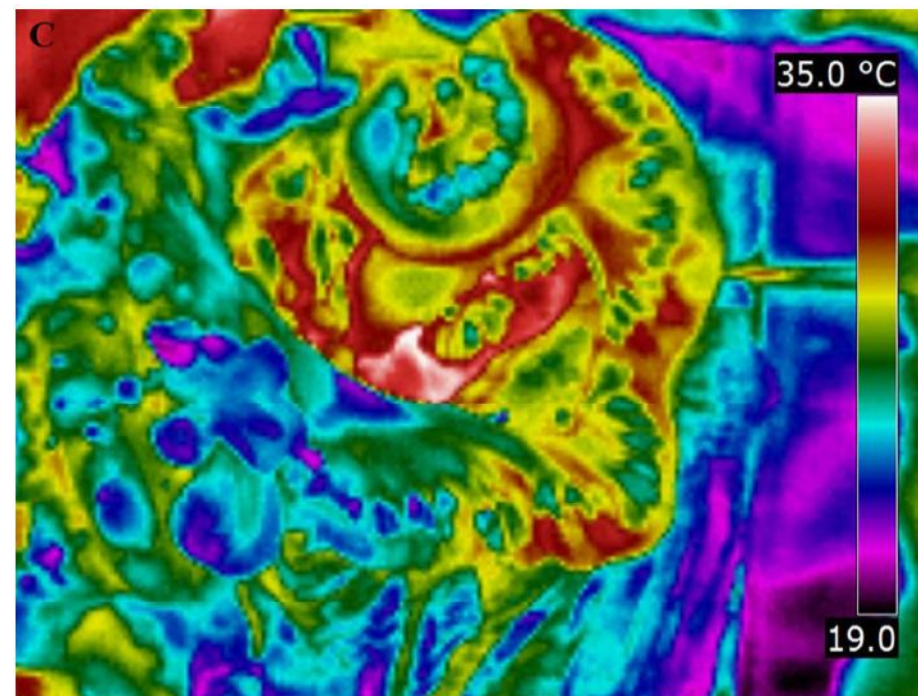
Paréza n. ulnaris – chladový test (3min)

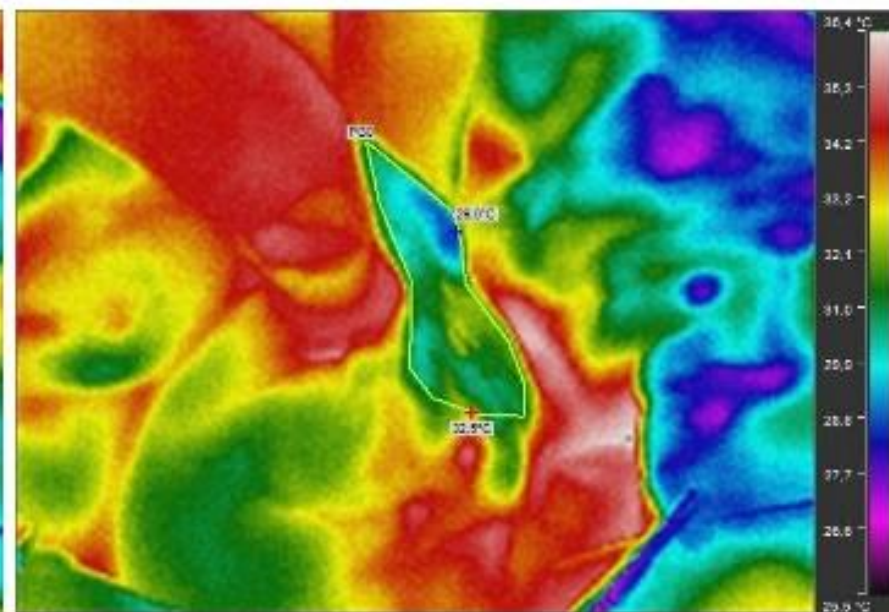
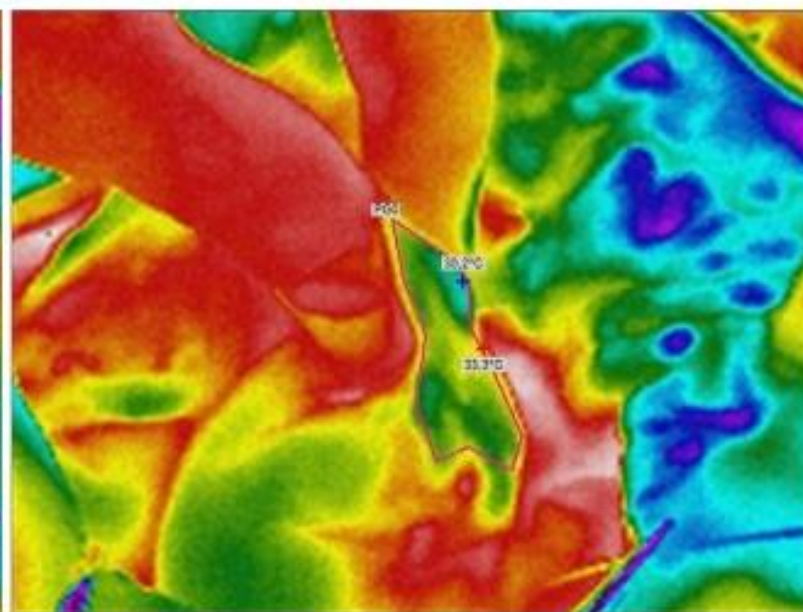
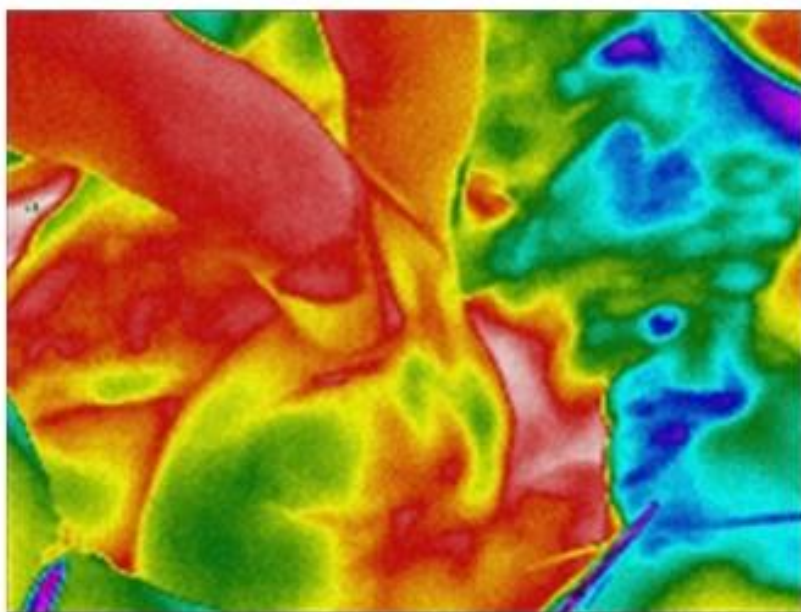
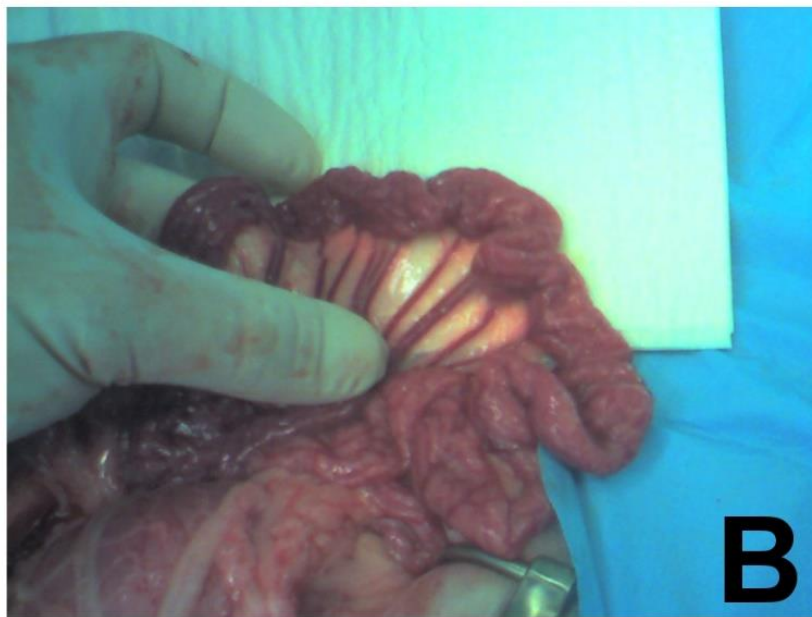
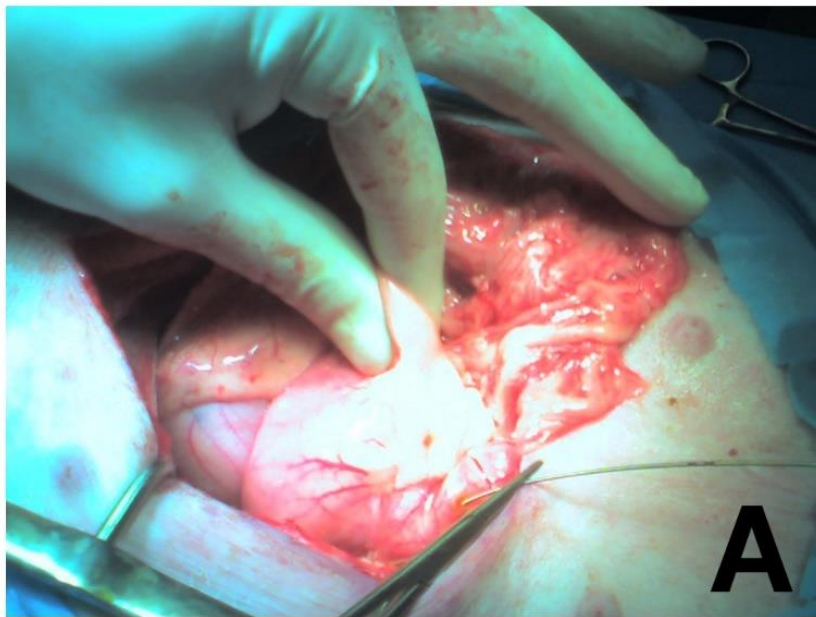


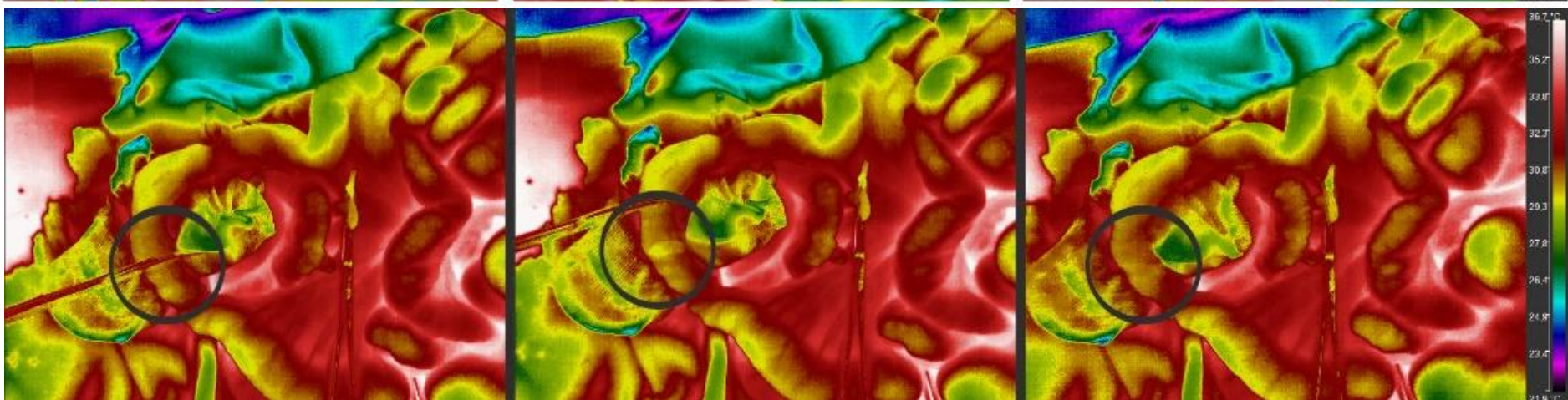
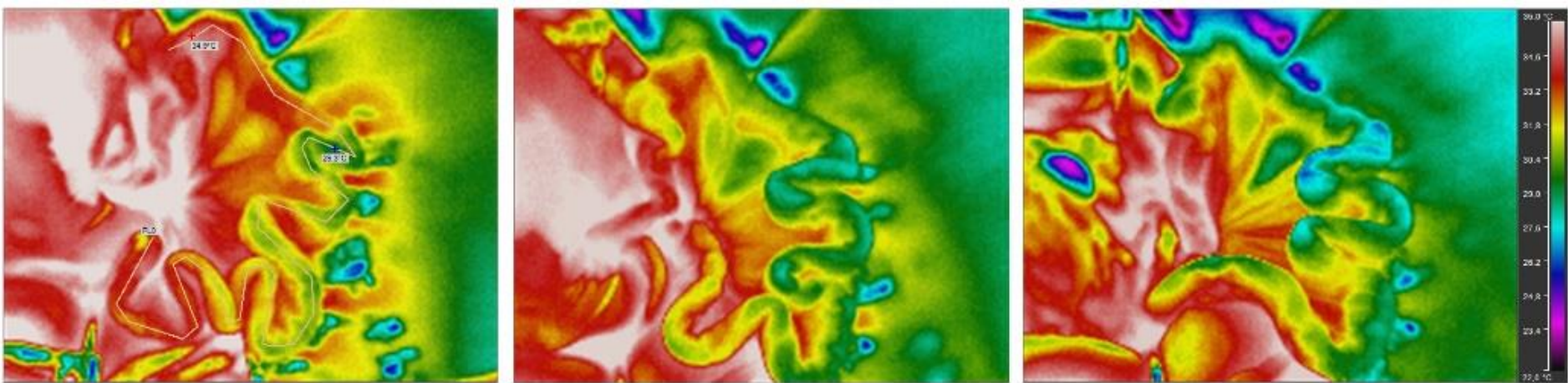
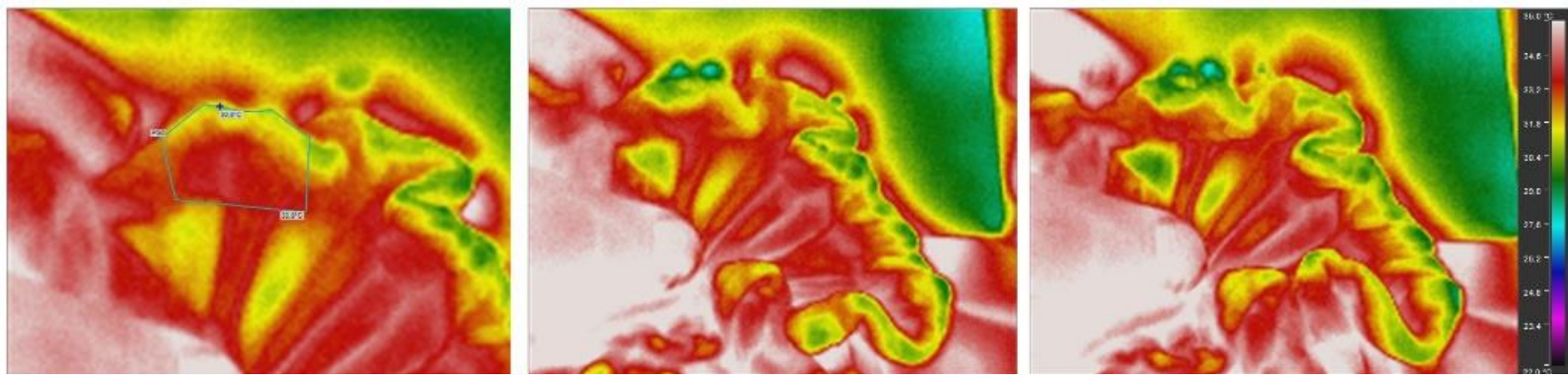
Paréza plexus brachialis

spolupráce
Biofyzikální ústav LF
Chirurgická klinika, FN
Brno

Resekce karcinomu tlustého střeva



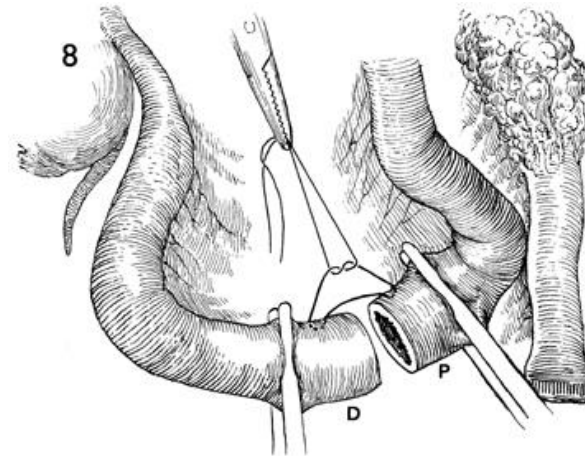
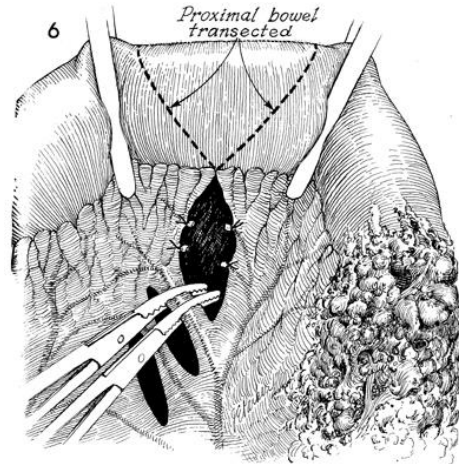
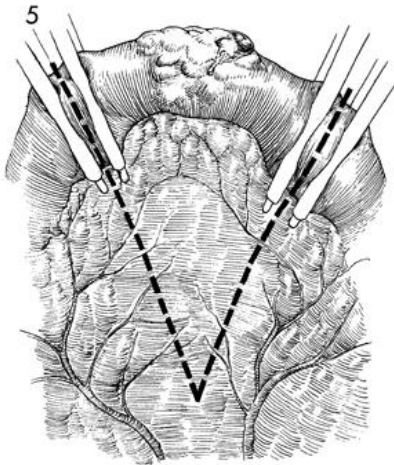




Short medical background

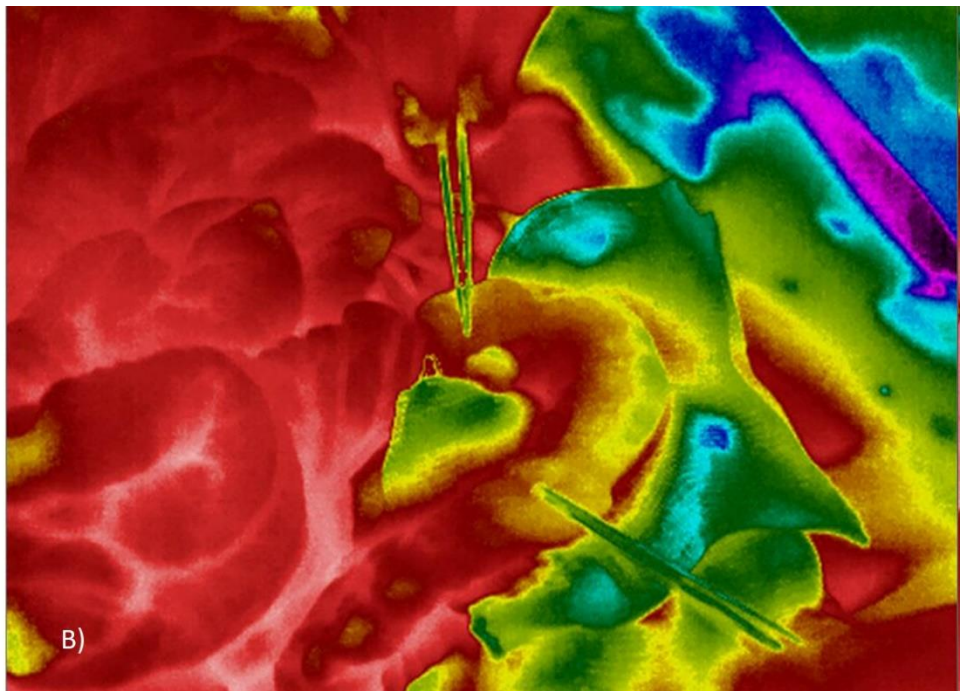
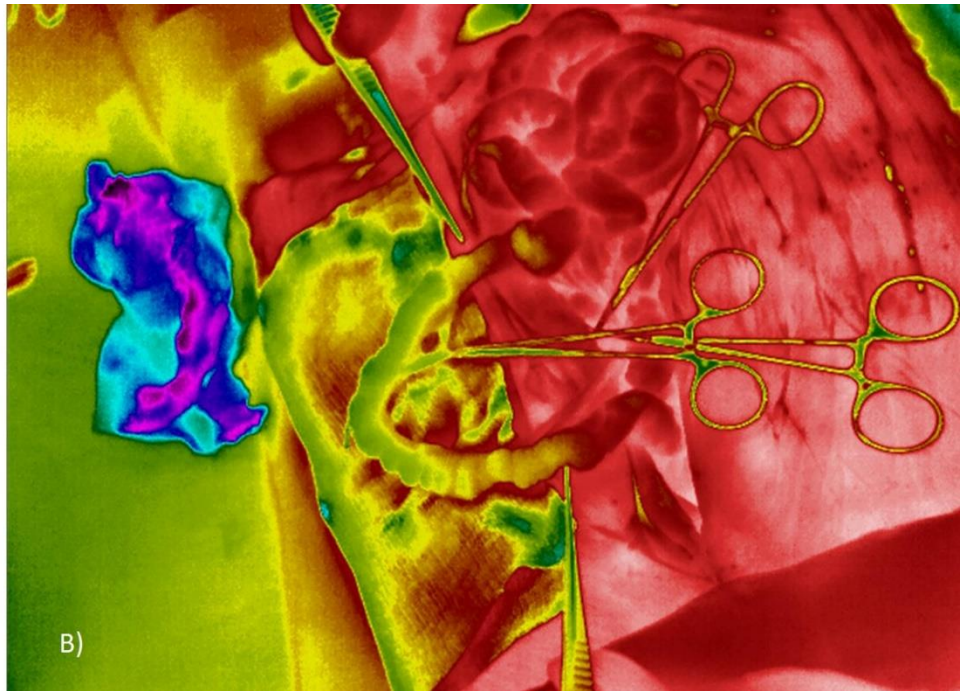
Anastomosis

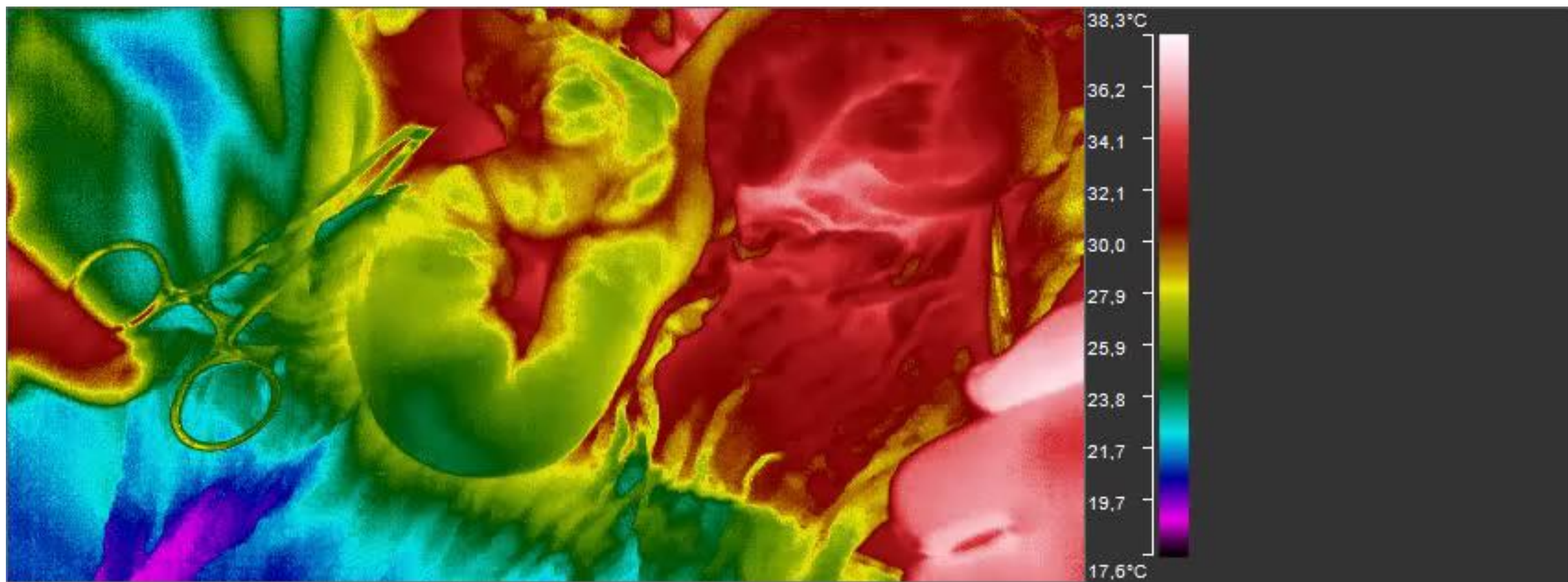
- is the connection of two normally divergent structures. It refers to connections between blood vessels or between other tubular structures such as loops of intestine.
- An example of surgical anastomosis occurs when a segment of intestine is resected and the two remaining ends are sewn or stapled together (anastomosed).



Small vessels are clamped and tied and **it is necessary to determine the ischemic part of small bowel.**

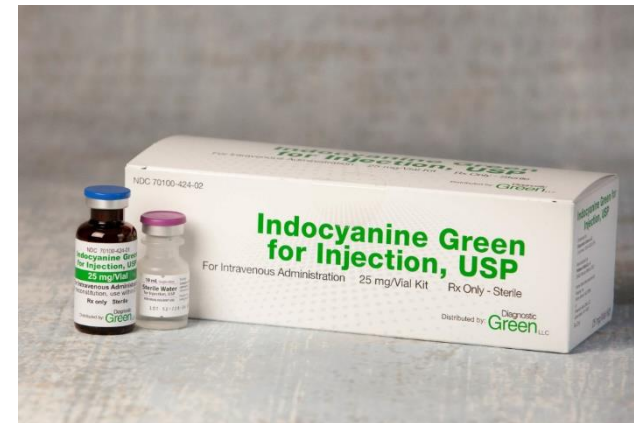
Anastomotic leakage is a very serious postoperative complication. It occurs mainly due to the poor blood supply of the anastomosis.





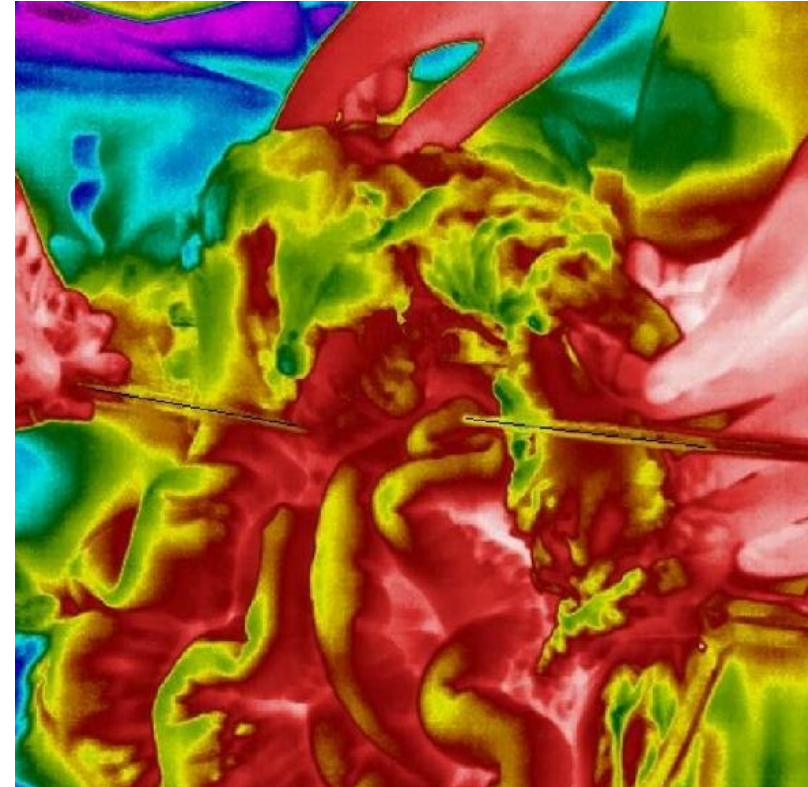
How to determine the blood supply

- **Indocyanine green angiography (ICG)** – the contrast agent (VERDYE – diagnostic green) is fluorescent with wavelength 830 nm and could be visualized with special probe
- The application of ICG should be performed intravenously **immediately after the devascularization** of the intestine subsection



http://us.diagnosticgreen.com/wp-content/uploads/sites/5/2016/07/DxGreen-USA-Product_web2-1024x682.jpg
<http://novadaq.com/wp-content/uploads/2016/09/new-pinpoint-camera-web.png>
<http://novadaq.com/wp-content/uploads/2016/09/product-pinpoint-front.png>

Angiografie za použití indocyanové zeleně (ICG) vs Termokamera



Angiografie za použití indocyanové zeleně (ICG) vs Termokamera



Využití – karcinom jícnu

MUNI
MED

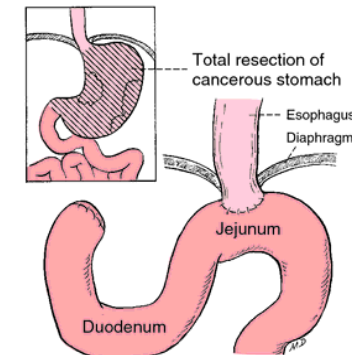
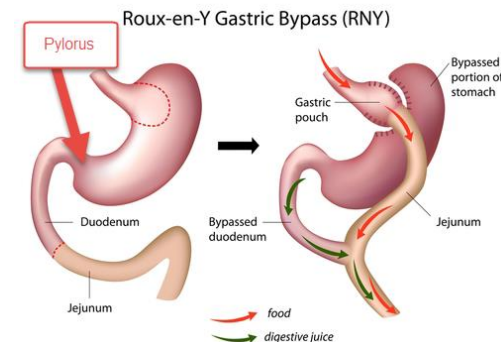
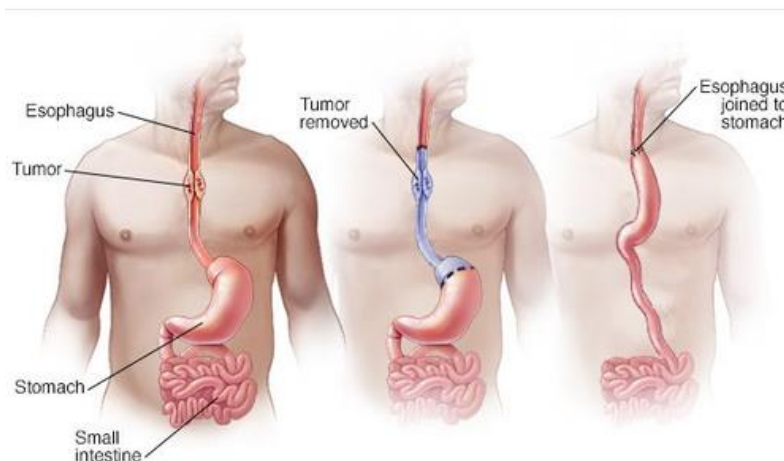
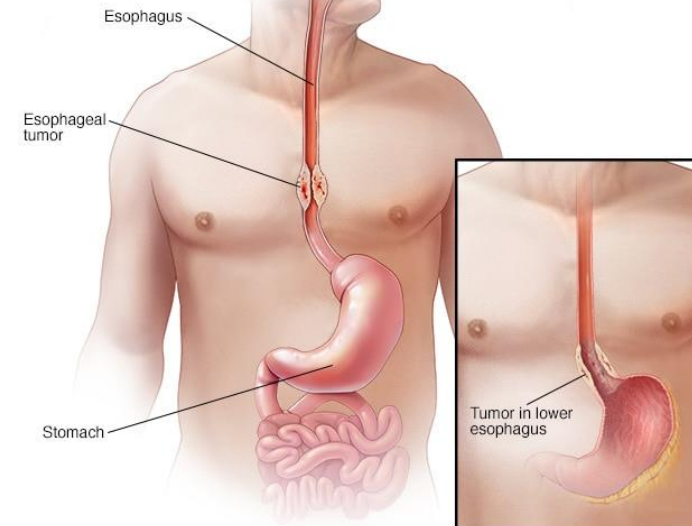
- Karcinom jícnu je 6 v pořadí u mortality pacientů (nádorová onemocnění)

Léčba

Primárně- radiční terapie, chemoterapie

Chirurgická léčba – Vždy doporučena po primární léčbě

Esophagektomie – základní chirurgická léčba

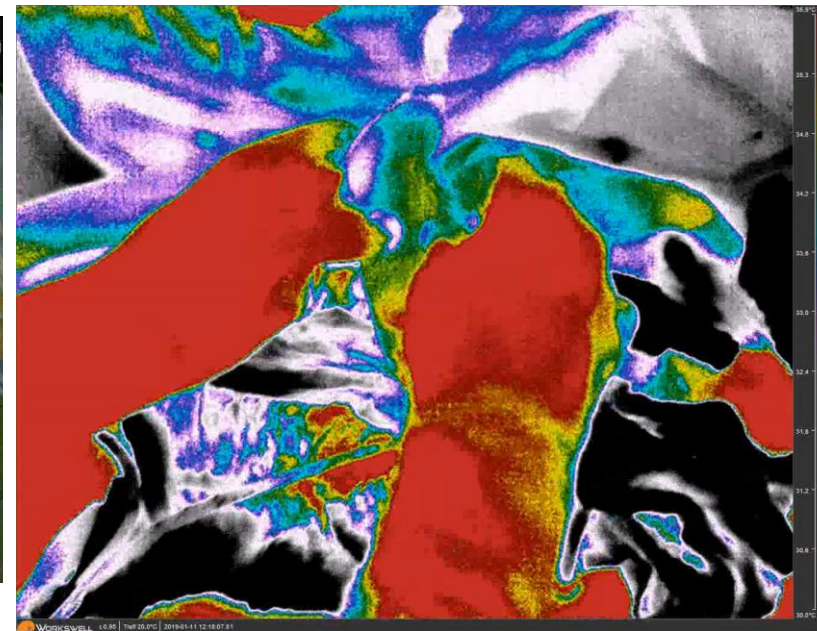


MUNI
MED

Výsledky

Pacient 2

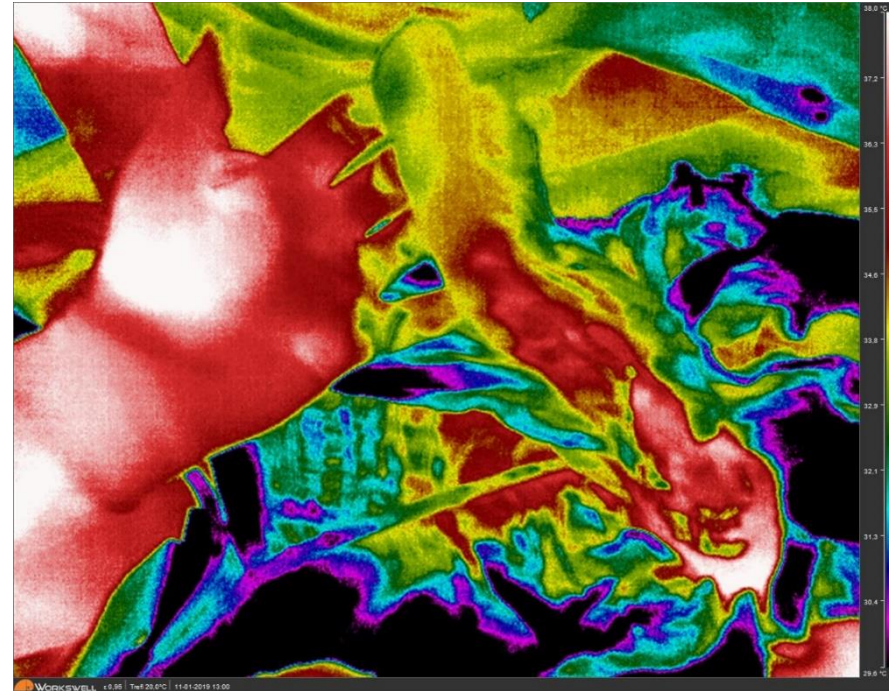
MUNI
MED



Výsledky

Pacient 2

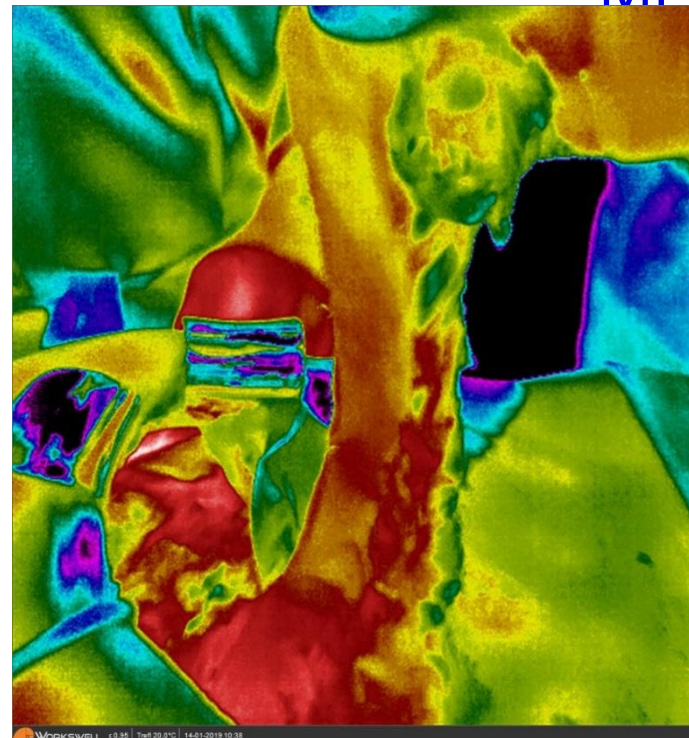
MUNI
MED



Výsledky

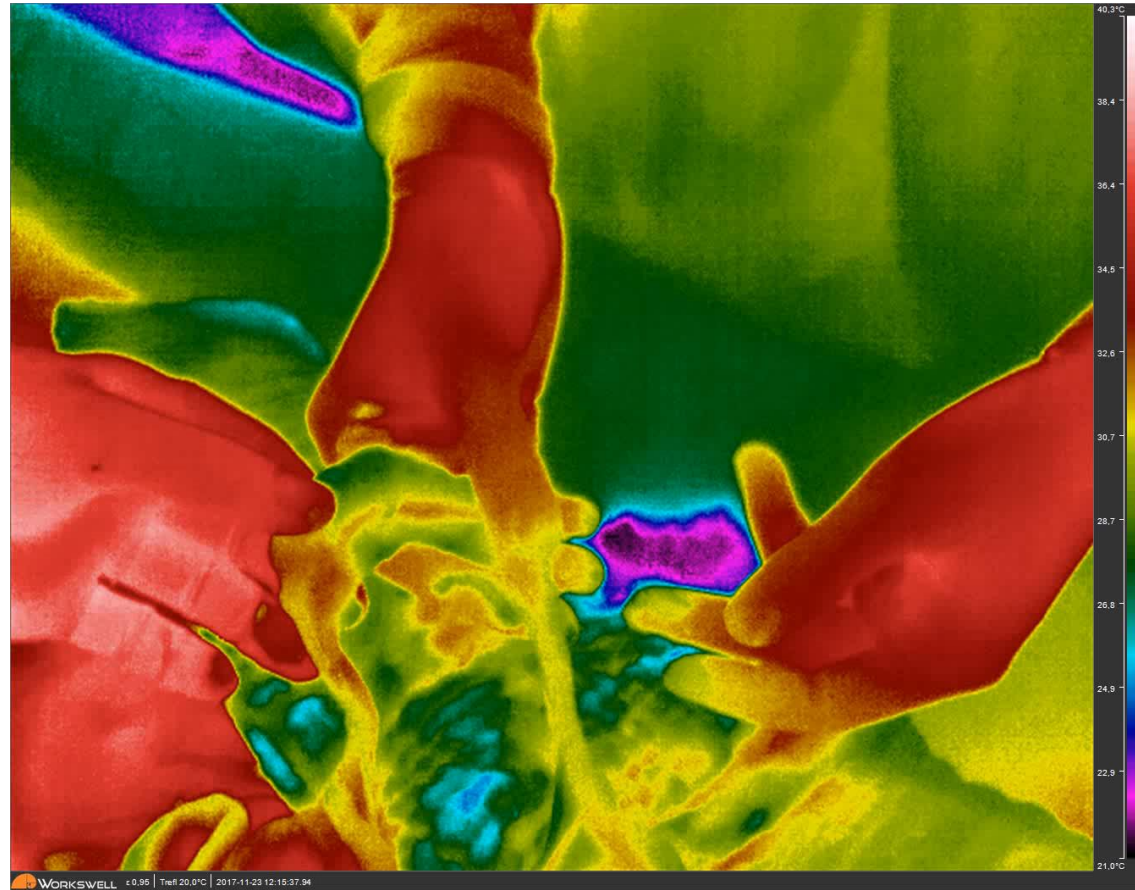
Pacient 3

MUNI
MED

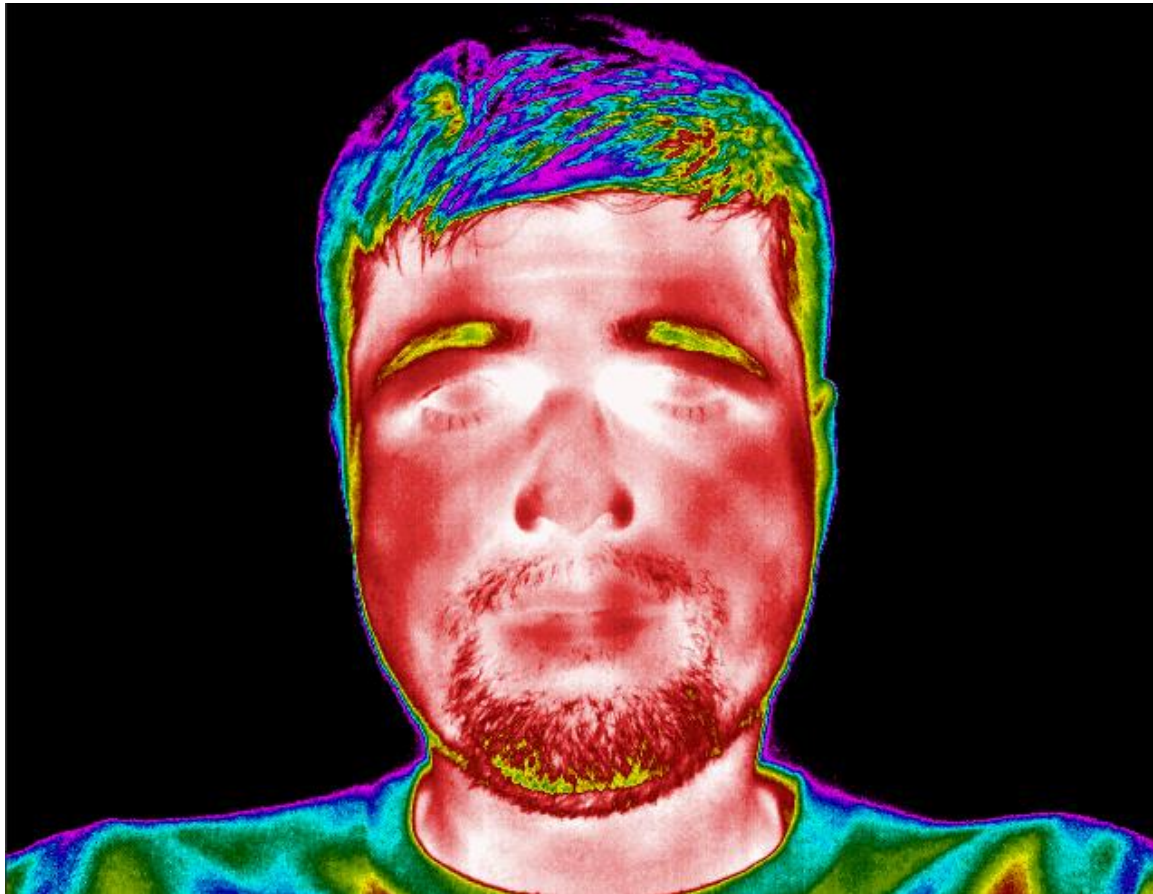


Co je skutečně a co zpracování software

Sledování teploty při kauterizaci



Děkuji za pozornost



– Použité zdroje:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Rtu%C5%A5>

„Clinical thermometer 38.7“ od Menchi – Vlastní dílo. Licencováno pod CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons -

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Clinical_thermometer_38.7.JPG#mediaviewer/File:Clinical_thermometer_38.7.JPG

"1024 Pyrometer-8445" by Hedwig Storch - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons -

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:1024_Pyrometer-8445.jpg#mediaviewer/File:1024_Pyrometer-8445.jpg

<http://www.thermologyonline.org/images/logos/ACCT-new-logo150x150.gif>

– <http://www.thermologyonline.org/images/logos/ACCT-new-logo150x150.gif>

– "ParowozIR" by Jagokogo - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons -

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ParowozIR.jpg#mediaviewer/File:ParowozIR.jpg>

– <http://www.electronicshhealthcare.com/images/MC-514.jpg>

Acknowledgment: The research leading to these results has received funding from the Norwegian Financial Mechanism 2009-2017 and the Czech Ministry of

Education, Youth and Sports under Project Contract no. MSMT- CZ09 7F16001

CZ09 7F16001 THERMOMED

MUNI
MED