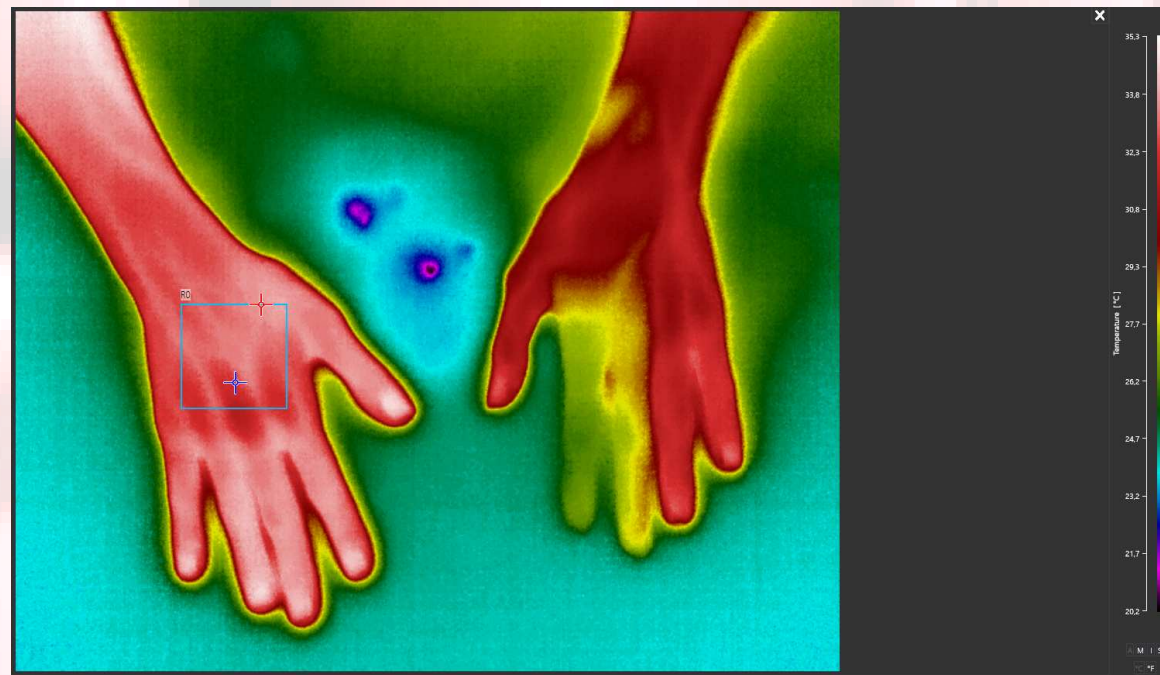




Přednášky z lékařské biofyziky

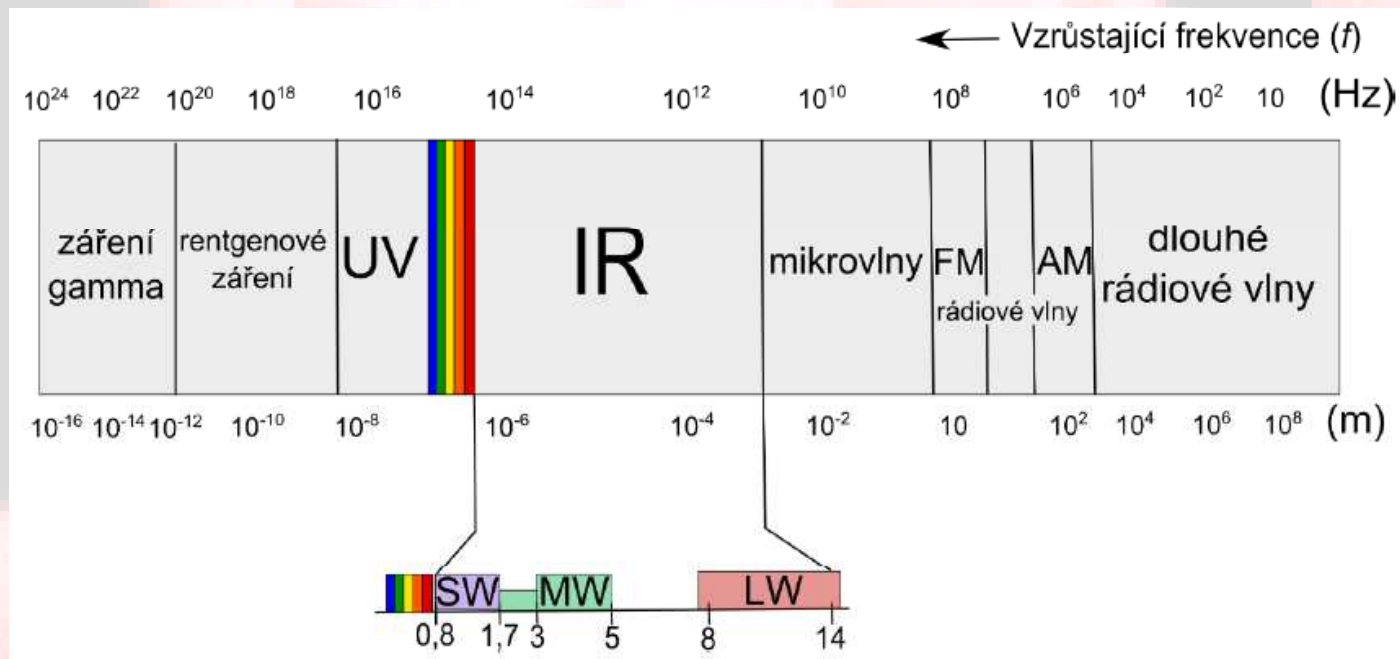
Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno



**Infračervené zobrazení
(termografie/termovize)**



Co to je infračervené zobrazení a infračervené záření?



- Bezkontaktní termografická metoda je založena na měření infračerveného záření (IR) emitovaného povrchem těla.
- Pro snímání obrazu se používá digitální senzorová technologie.
- Vlnové délky IR 780 nm - 1 mm
- IR bylo poprvé zviditelněno Holstem v r. 1934
- Objeveno astronomem Herschelem v r. 1800
- Vlnové délky využívané termografii 0,7 - 14 μm



Rozdělení infračerveného záření

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

- **IR-A (760 nm – 1,4 μm)**
- **IR-B (1,4 – 3 μm)**
- **IR-C (3 – 1000 μm)**

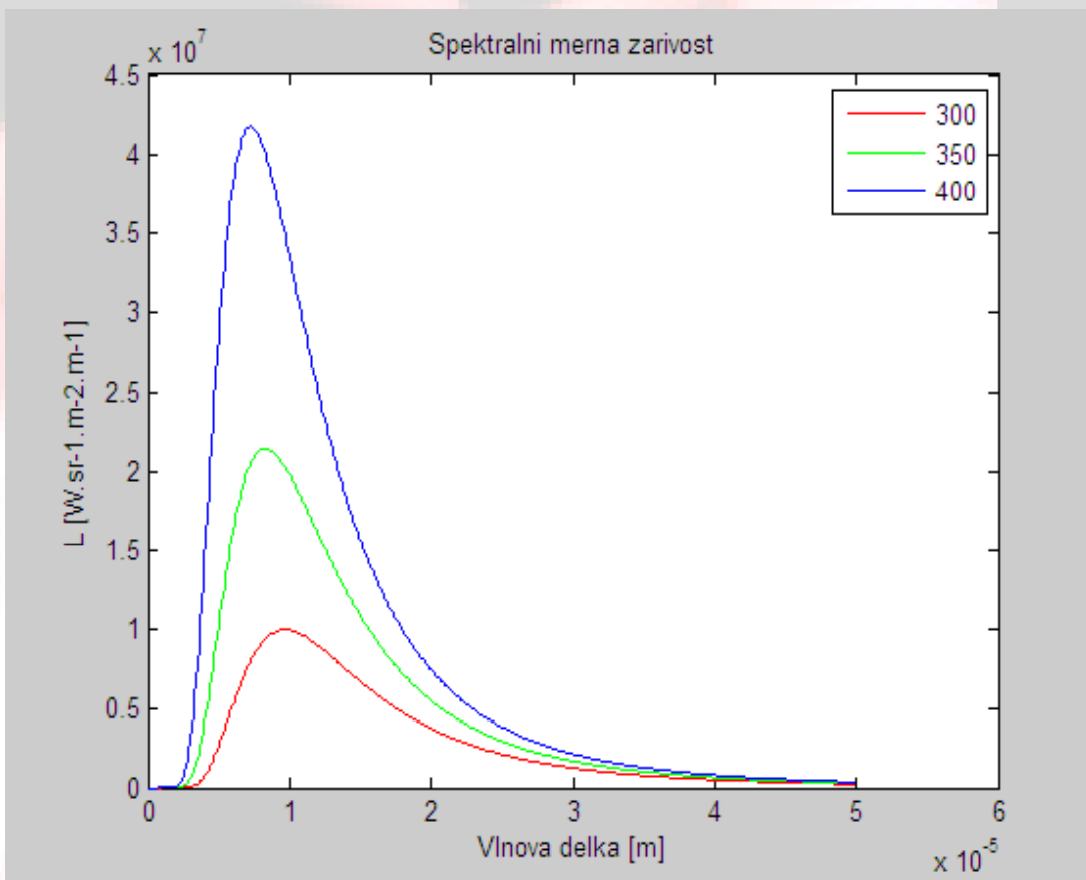


Planckův vyzařovací zákon

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

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

$$C_1 = 2hc^2, \quad C_2 = \frac{ch}{k_B}$$



| | | |
|-------------|---------------------------|--|
| 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 | $1,4388 \cdot 10^{-2} [K \cdot m]$ |



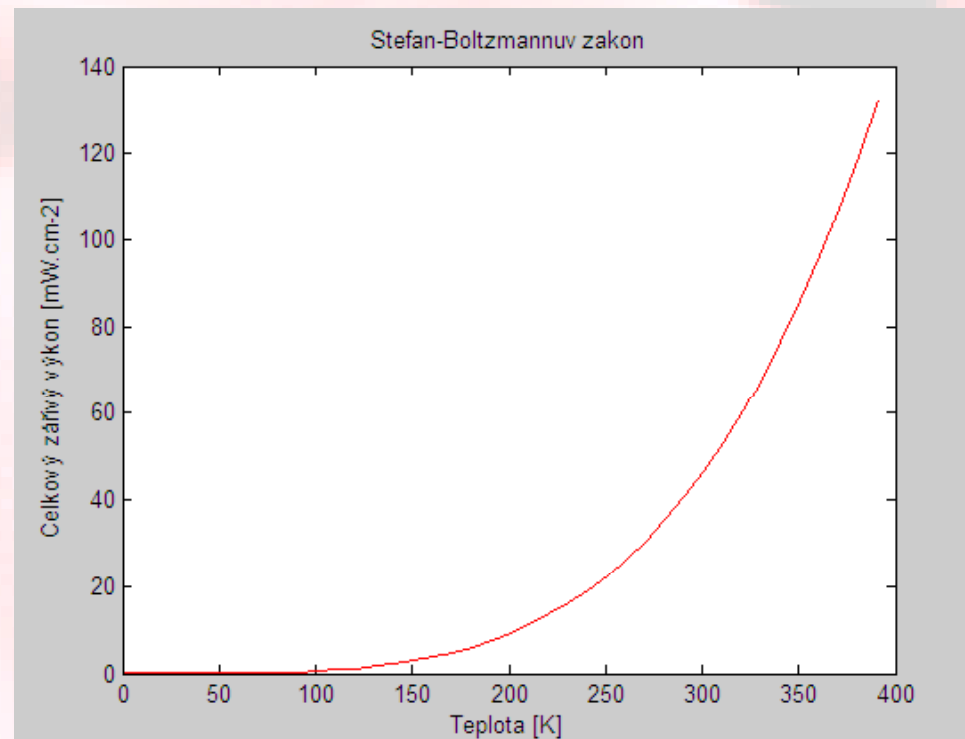
Stefan-Boltzmanův zákon

Vyjadřuje intenzitu vyzařování - „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 přes celé spektrum vlnových délek Planckova vyzařovacího zákona





Wienův posunovací zákon

„Maximum spektrální intenzity vyzařování se mění v závislosti na teplotě, odpovídající vlnovou délku lze stanovit vyhledáním lokálního extrému odpovídající funkce“ – tedy, čím je těleso teplejší, tím více vyzařuje na kratších vlnových délkách

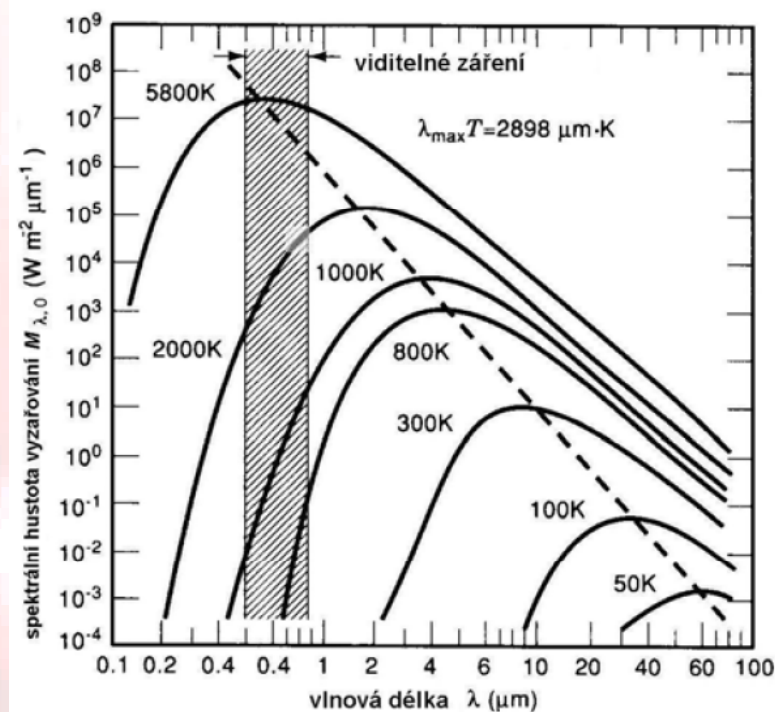
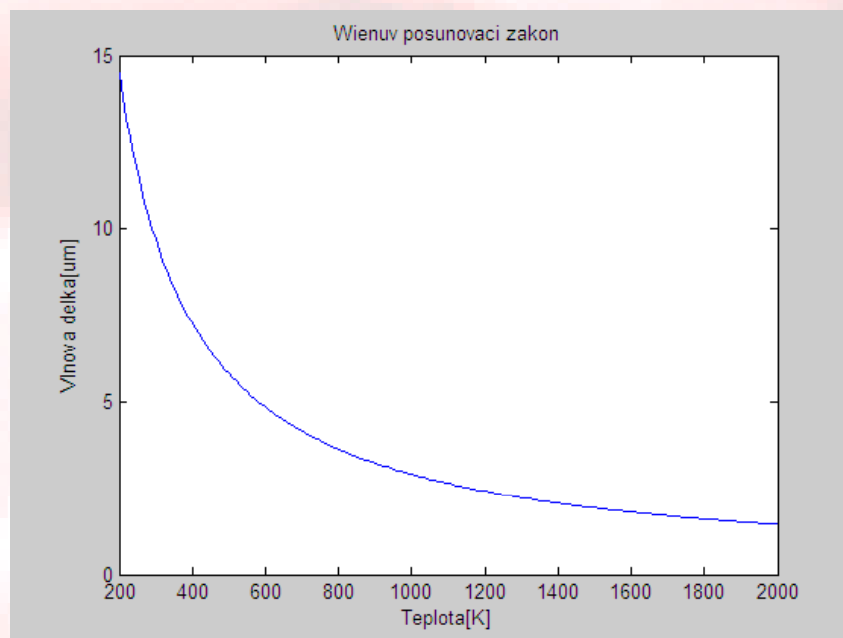
$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

Wienova konstanta

$$b = 2,898 \text{ mm} \cdot \text{K}$$

Např. člověk při běžné teplotě 37°C (310 K) vyzařuje nejvíce elektromagnetické záření s vlnovou délkou 9,35 μm, což odpovídá infračervenému (tepelnému) záření. Slunce, jehož povrch má teplotu asi 5800 K, má maximum spektrální intenzity vyzařování v oblasti viditelné, ale hojně vyzařuje i v oblasti infračervené a ultrafialové.

Lze vyjádřit derivací Planckova vyzařovacího zákona:

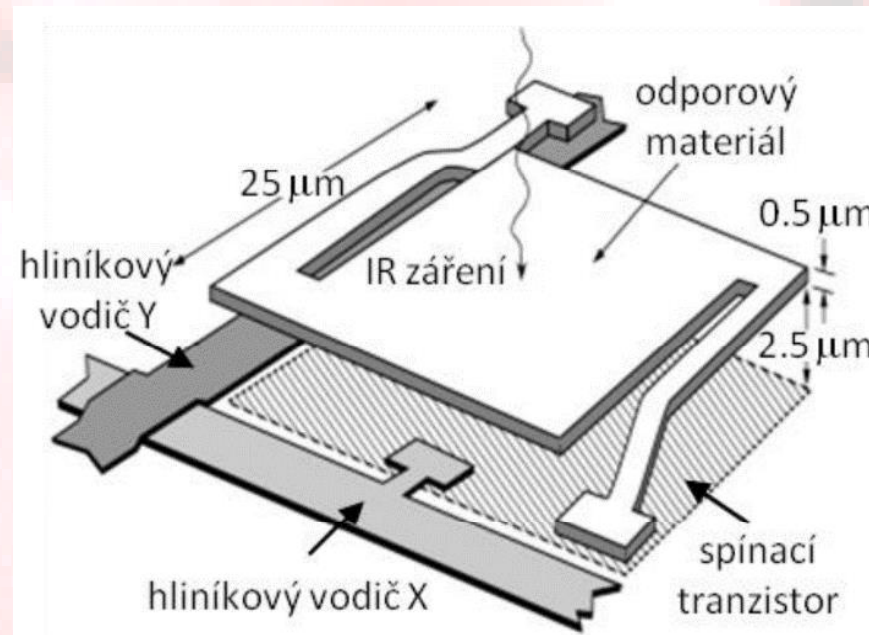




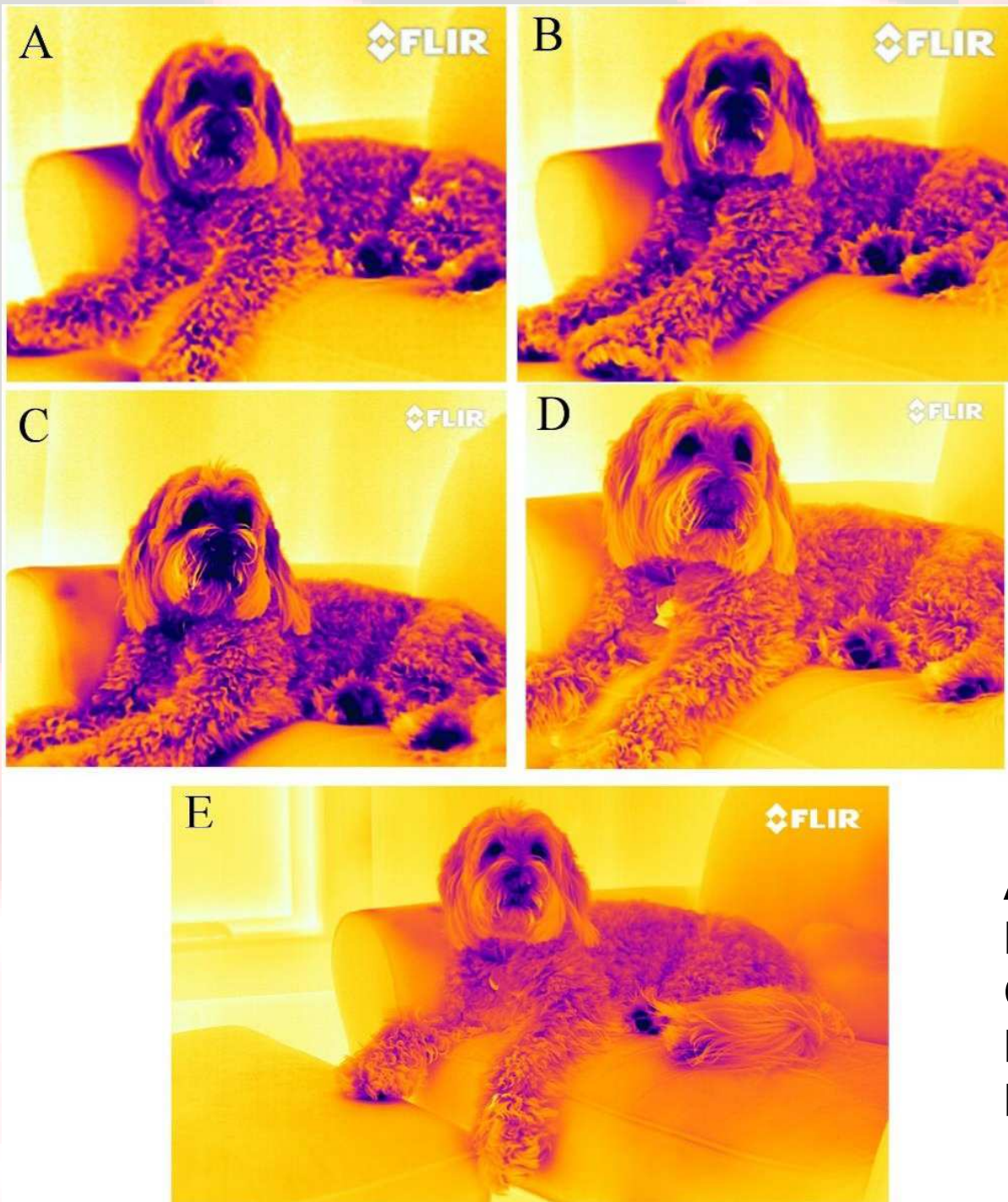
Princip snímání obrazu

Digitální kamera se sadou pixelových senzorů citlivých na IR (mikrobolometr nebo fotonový detektor).

Mikrobolometr je mřížka tepelných senzorů vyrobená z oxidu vanadičného nebo amorfního křemíku, umístěná na odpovídající mřížce křemíku. IR záření o určitém rozsahu vlnových délek dopadá na oxid vanadičný a mění jeho elektrický odpor. Tato změna odporu je měřítkem teploty. Teploty lze znázornit graficky.



Příklad
převodní
jednotky
jednoho
pixelu



Rozlišení termogramů

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



Meditherm Med2000[®]

Maximizing the potential of thermography

Meditherm Med2000 Specifications For Standard Clinical Applications

Camera

- Coolant: Thermoelectrically cooled
- Weight: 2 kg
- Size: 14cm W x 43cm H x 11cm D
- Operating Temperatures: 10°C to 37°C

Image display

- 10 x True colour palettes
- 1 x 16-step grayscale.
- 3 x 16-step Isotherm.
- Dynamic range: 24 bits
- Image stored in TIF format
- Image size 95kb
- Temperature step sizes: 0.1 - 2°C

Image Acquisition

- Temperature ranges:
10°C to 40°C (Standard Calibration)
- Thermal sensitivity: < 0.01°C
- Field of view: 30.5° x 22.5°
- Spatial resolution:
0.4 mm (camera at 15 cm)
1mm (camera at 40 cm)
- Resolvable elements: 244 x 193 pixels
- Image scan rate: 8 seconds (47K pixels)
5 seconds (23.5K pixels)
- Emissivity correction: User variable
0-100% default setting 100%



WORKSWELL MEDICAL SERIES

MEDICAS

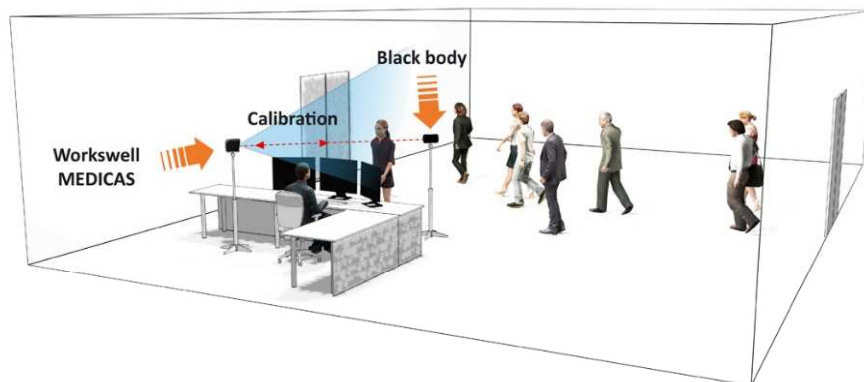
SCREENING INFEKČNÍCH CHOROB TERMOKAMEROU

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° |



- termovizní kontroly na letištích (chřipkové epidemie)



Tchaj-wan
Letiště Taipei
– 4/2019

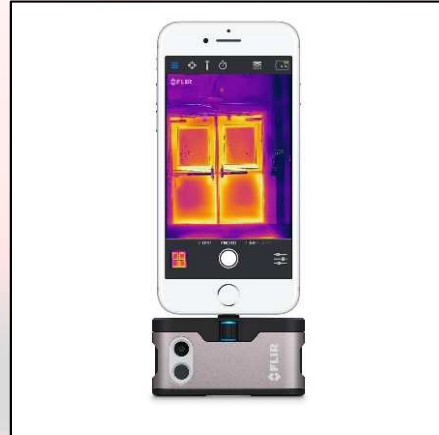


Vybavení pro měření IR na Biofyzikálnímu ústavu LF MU, Brno

Fluke Ti30



FLIR ONE gen 2



Seek Thermal



FLIR i7



Kalibrační model ČT



FLIR B200



Workswell WIC-640





IR zobrazení v medicíně – **výhody** a **nevýhody**

- Vysoké teplotní a prostorové rozlišení
 - Rozložení teplot je znázorněno pomocí izoterem
 - Možnost zobrazení teplotních profilů
 - Bezpečné, rychlé a ekonomické vyšetření (žádný spotřební materiál)
-
- **Rozložení povrchové teploty je různé i u zdravých lidí**
 - **Je výhodné srovnávat teploty symetrických částí těla**
 - **V rozporu s původním očekáváním nelze použít IR zobrazení jako screeningovou metodu pro zhoubné nádory, např. nádory prsů, protože má velmi nízkou specificitu.**



Klinický význam termografie

Metody poskytuje informaci o rozsahu a dynamice jakéhokoliv patologického procesu, který je spojený se změnou teploty.

Indikace

- Onemocnění periferních cév
- Nemoci štítné žlázy
- Nemoci lymfatického systému
- Záněty kloubů
- Vymezení spálenin a omrzlin
- Hodnocení krevního zásobení v chirurgii (chirurgie trávicího traktu, plastická chirurgie)
- Raynaudův syndrom

Podmínky zobrazení:

Teplota zatemněné místnosti 20 °C

Aklimatizační doba kolem 20 min.

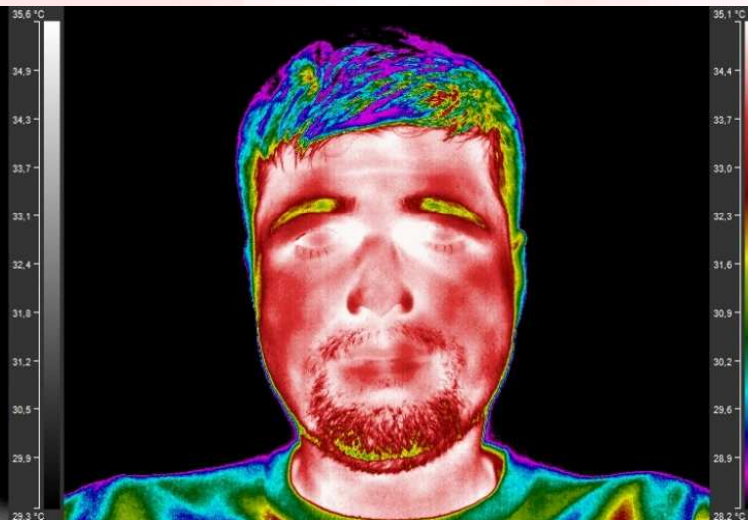
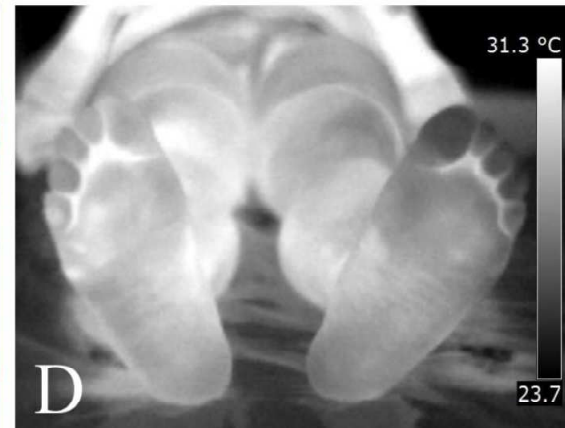
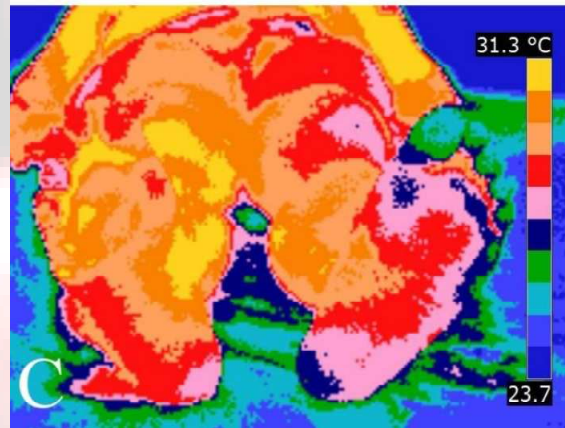
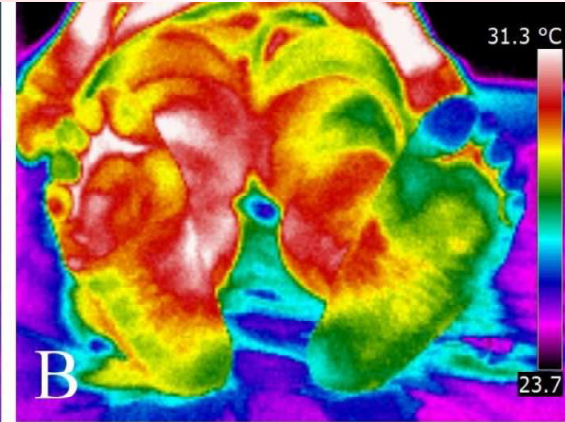
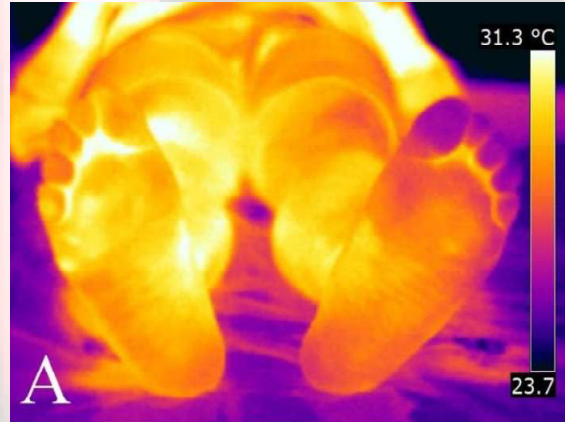
Vyšetřovaná část těla musí být v průběhu aklimatizace odhalena.

Před vyšetřením není dovoleno kouřit, pít alkoholické nápoje, cvičit nebo brát léky, které způsobují vasodilataci nebo vasokonstrikci.



Klinické termogramy

Různé palety pseudobarev

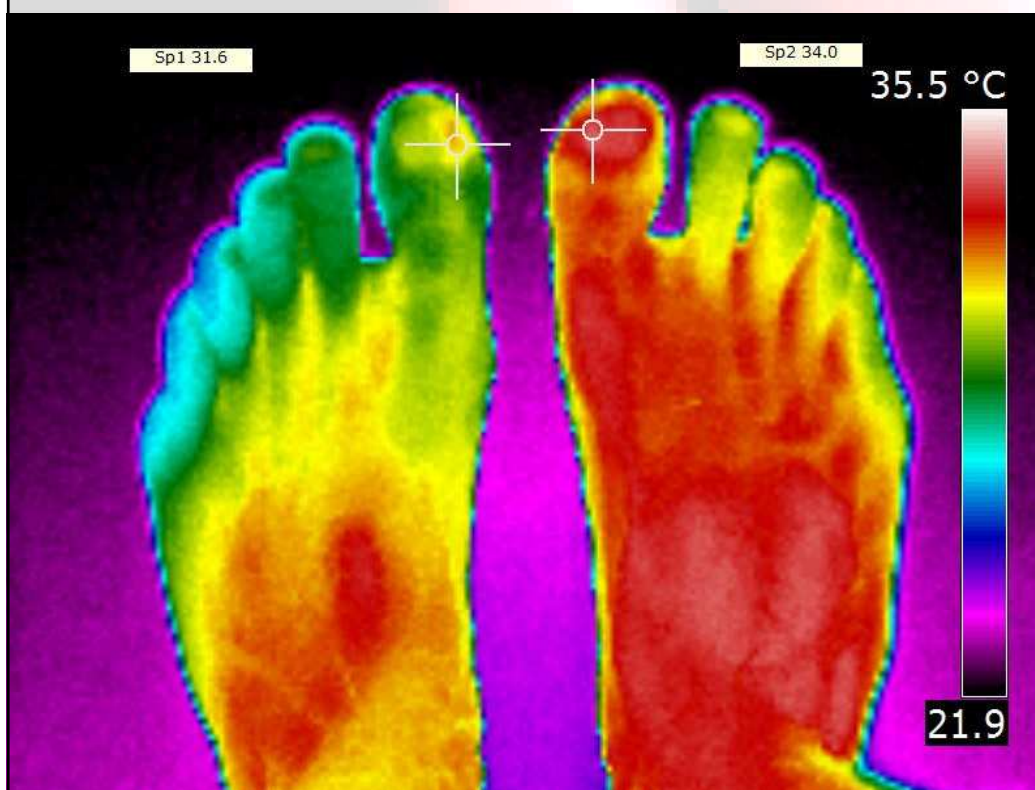




- Paréza n. ulnaris – chladový test 3min (nahore)

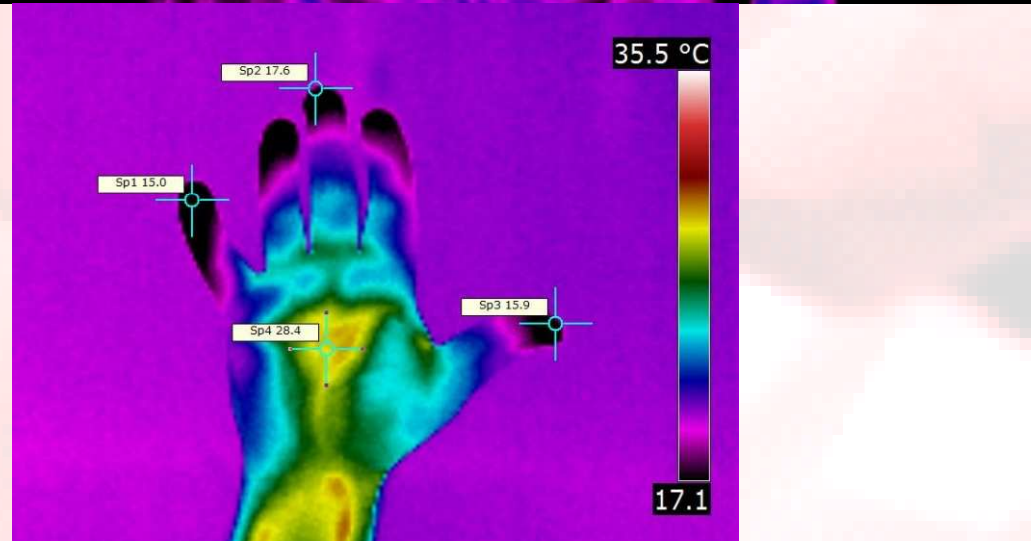
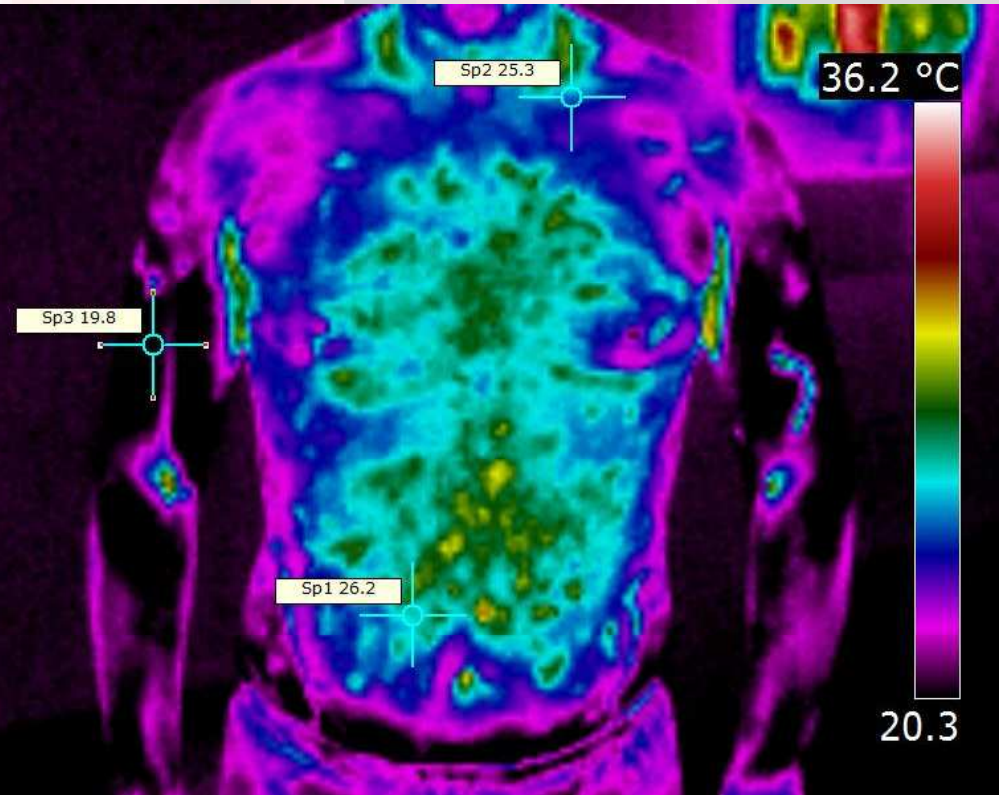
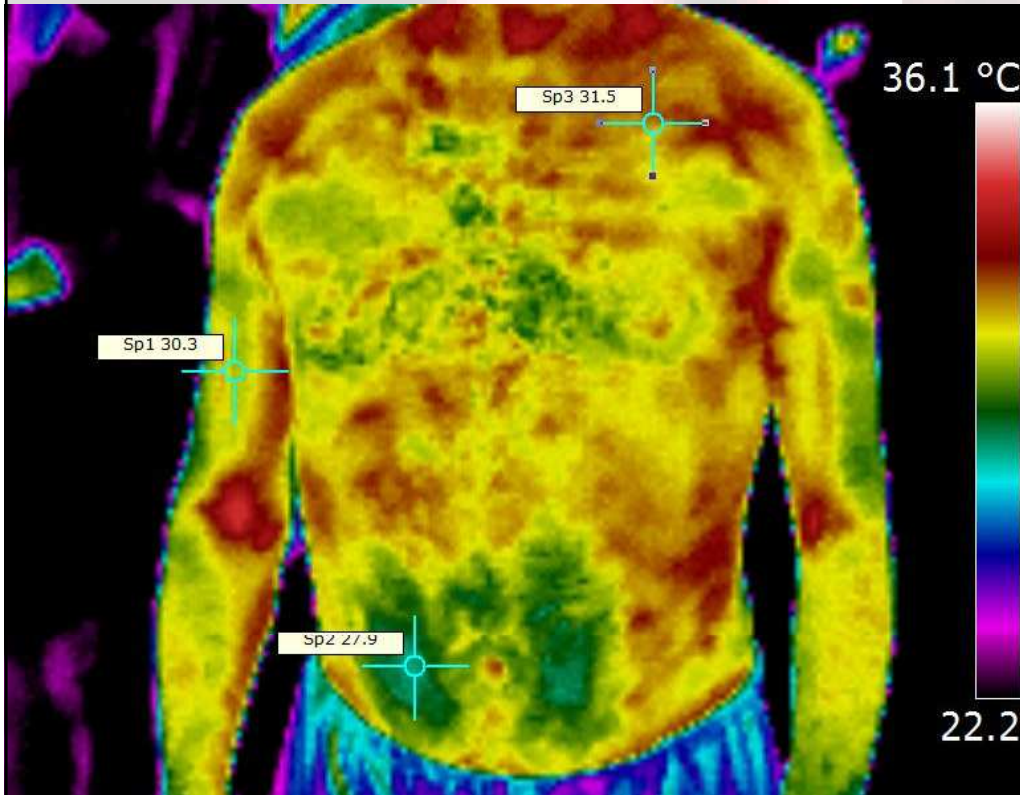


Zánět v oblasti lůžka nehtu palce (Flir b200)



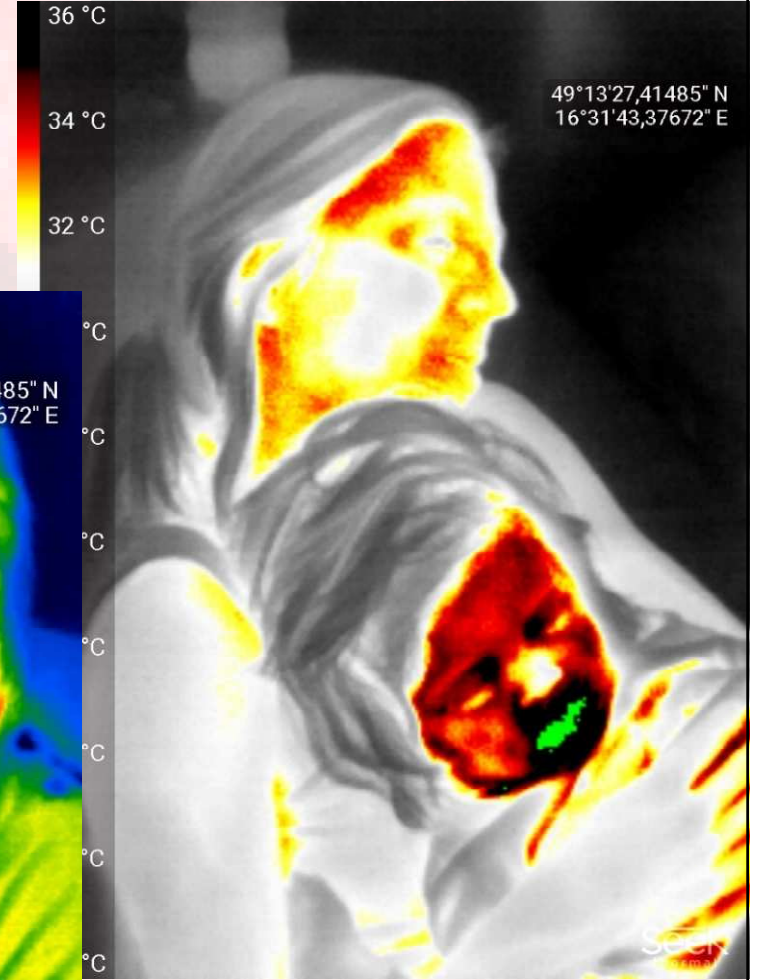
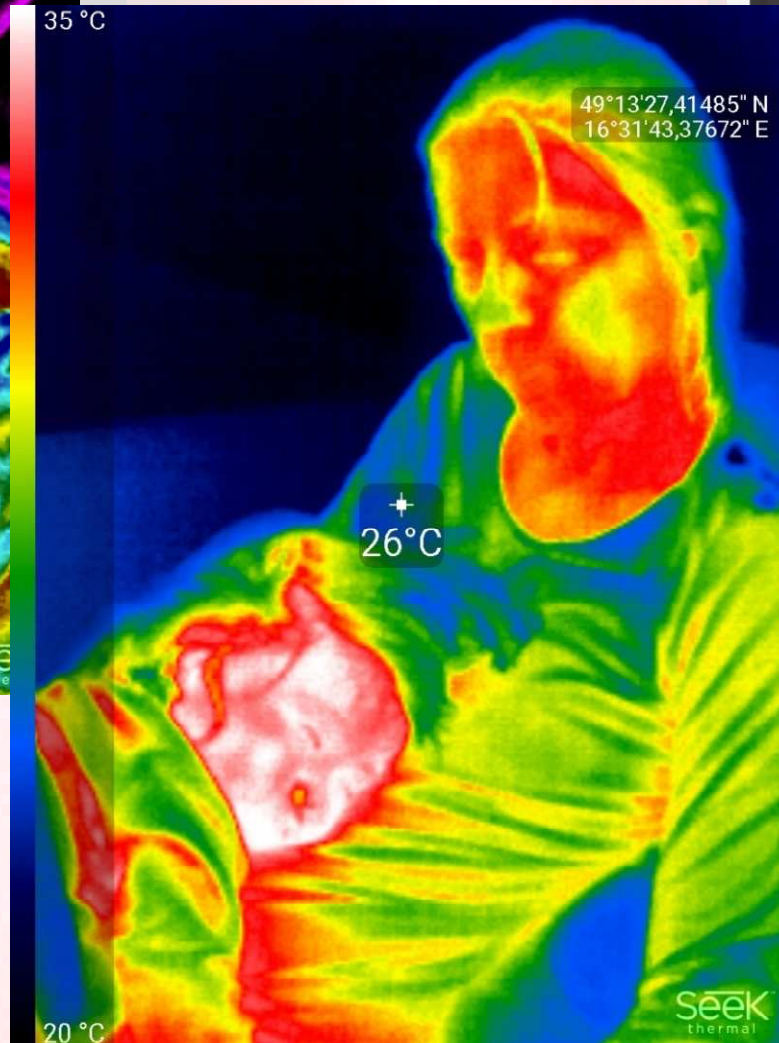
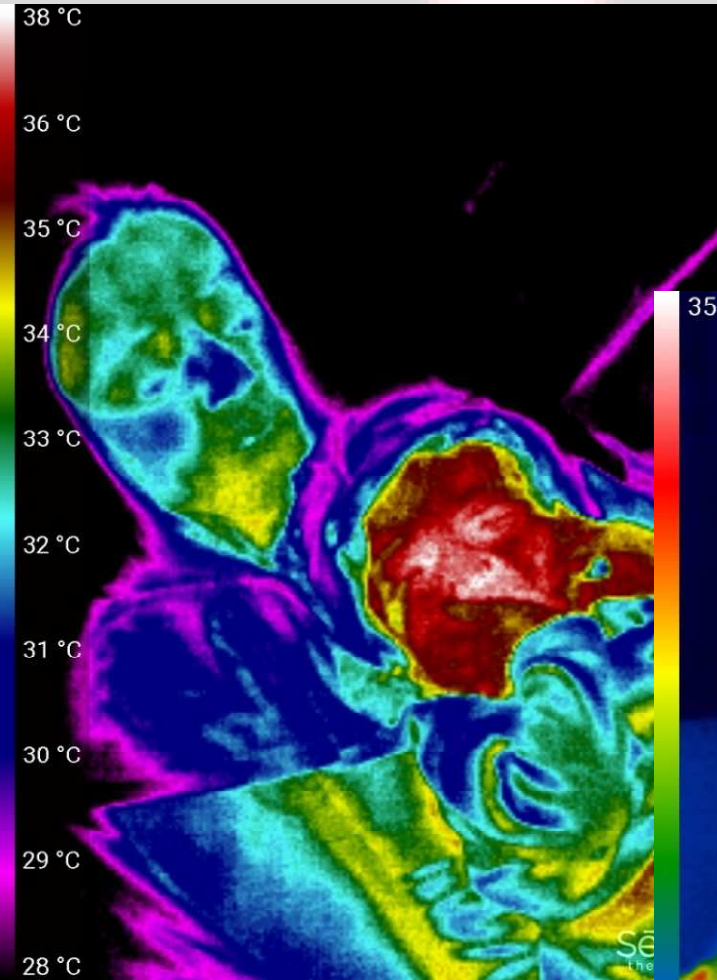


Před vstupem a po výstupu z kryokomory



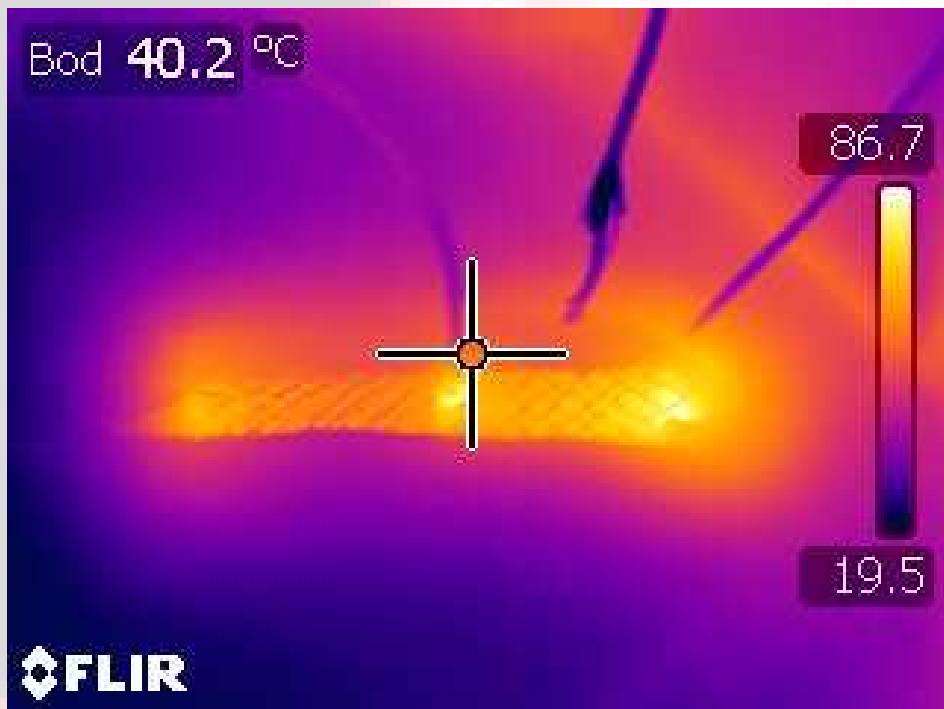


Termogram horečky u dítěte





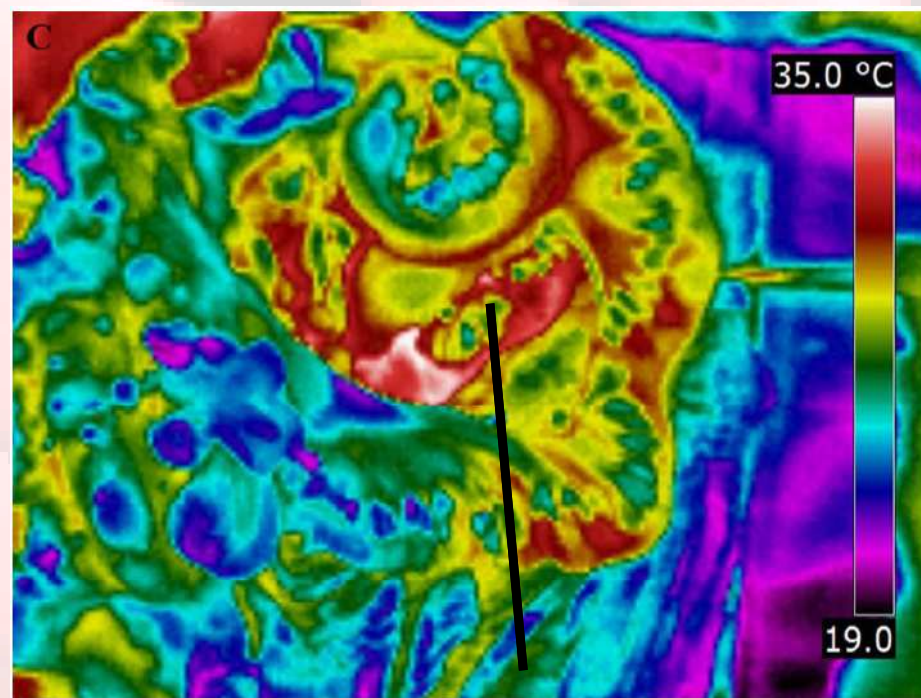
Klinická termografie



Ohřev stentu pomocí radioablačního zařízení (experiment)

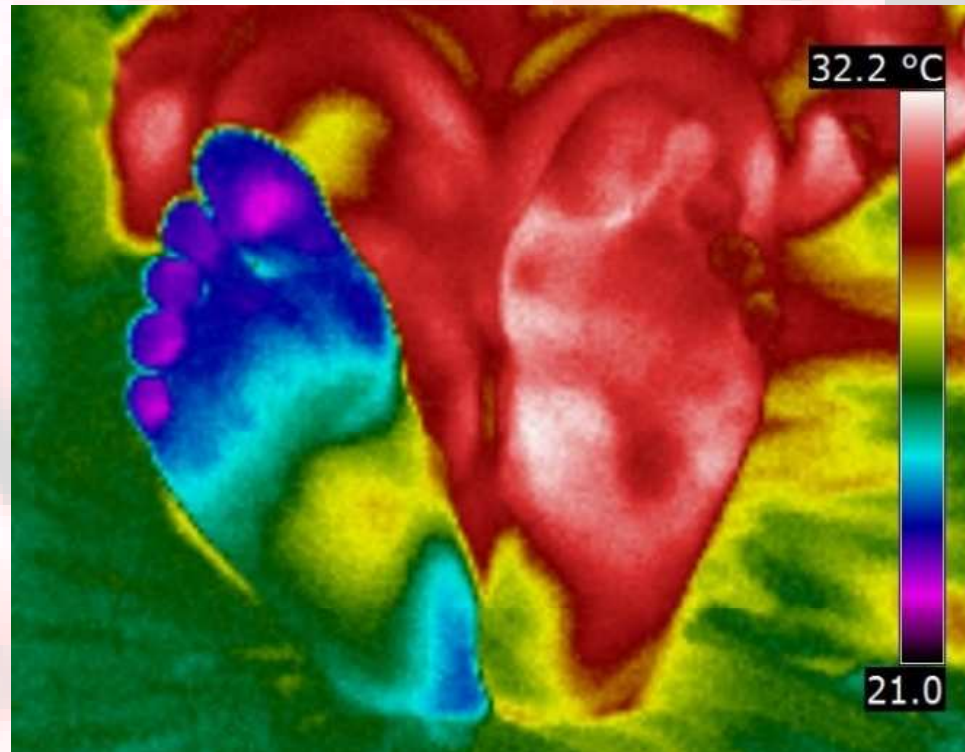


Identifikace části střeva pro resekci (experiment)



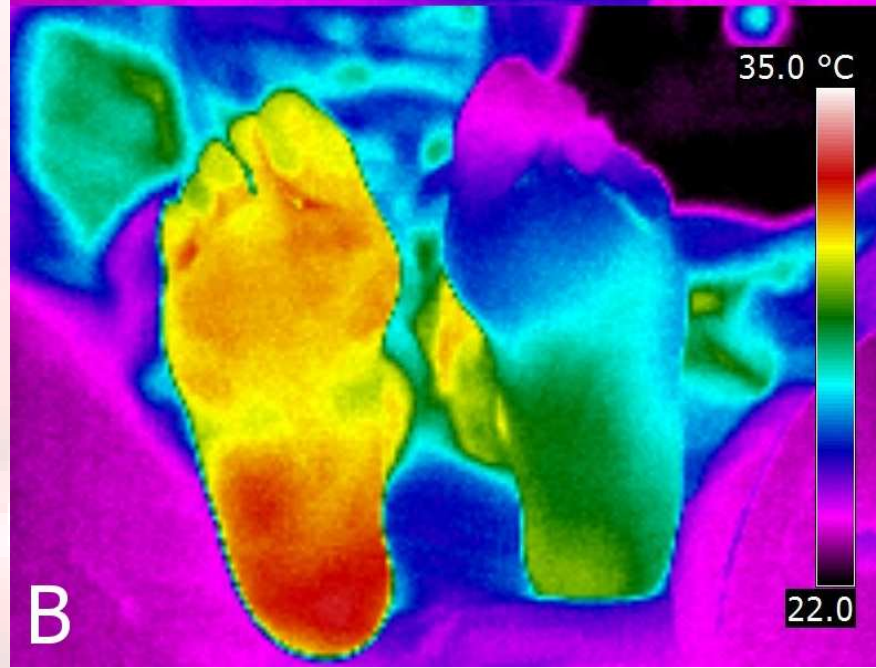
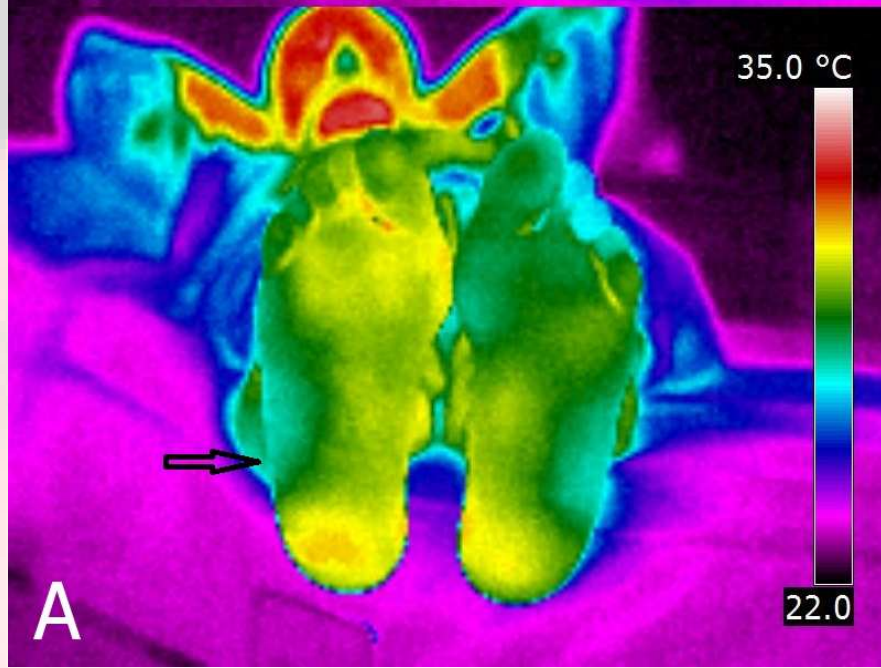
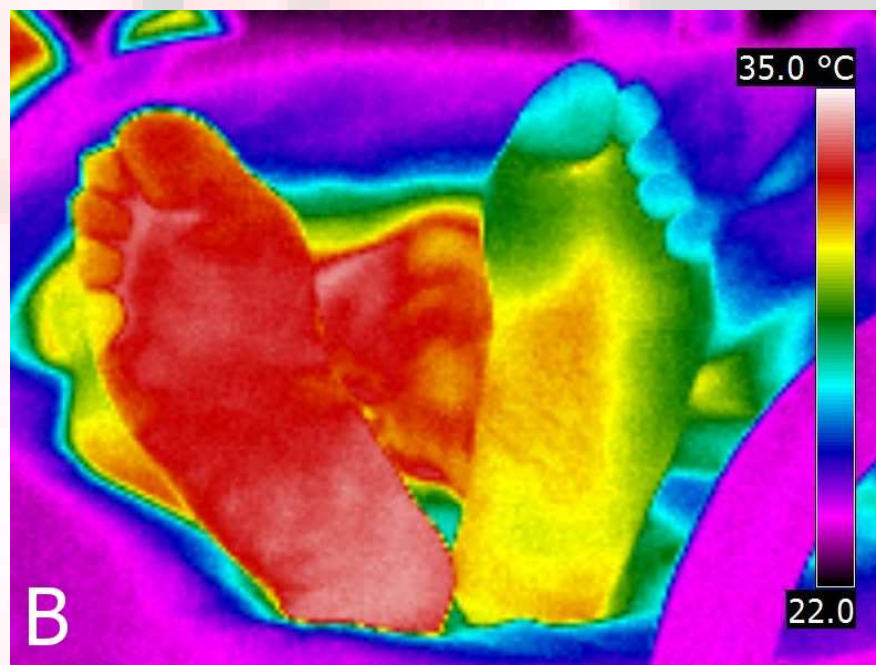
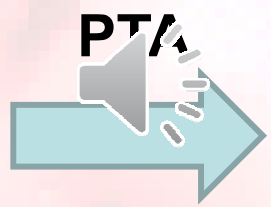
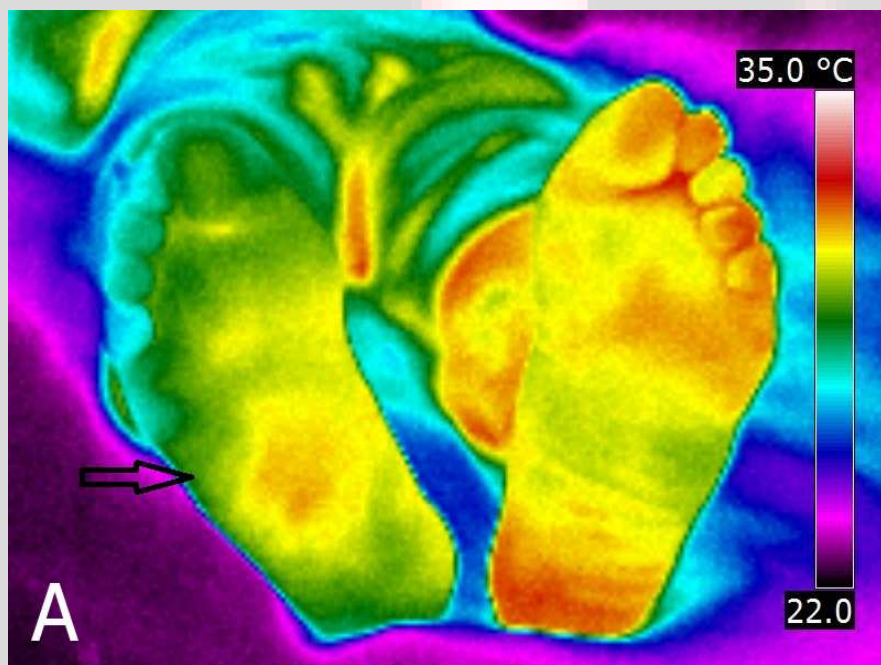


Klinická termografie



Příklad akutní končetinové ischemie u pacienta s ischemickou chorobou dolních končetin.

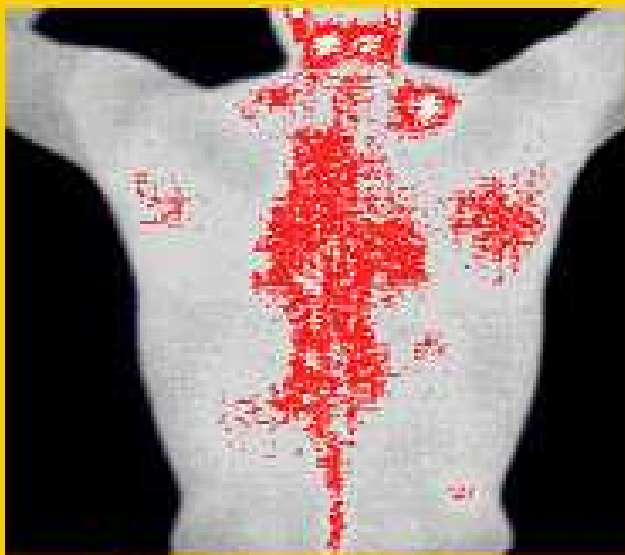
Efekt revaskularizace DK pomocí perkutánní transluminární angioplastiky (PTA)



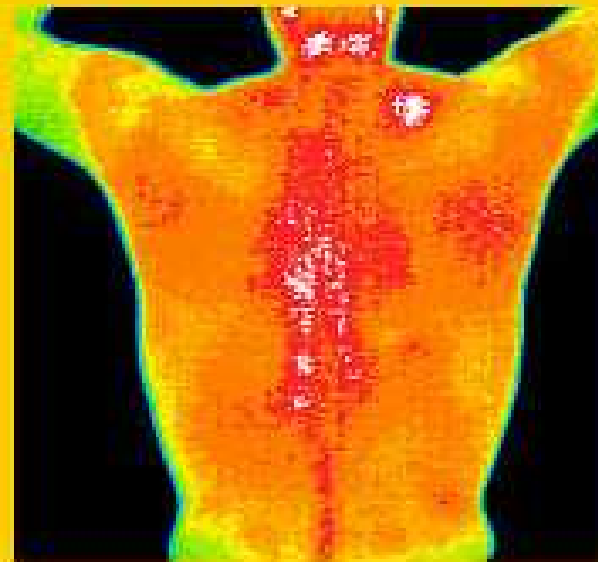
Myofascial Trigger Point Upper Right Levator Scapula

Diffuse Patterns Of Hyperthermia Over Central Spine

Cervical Inflammation



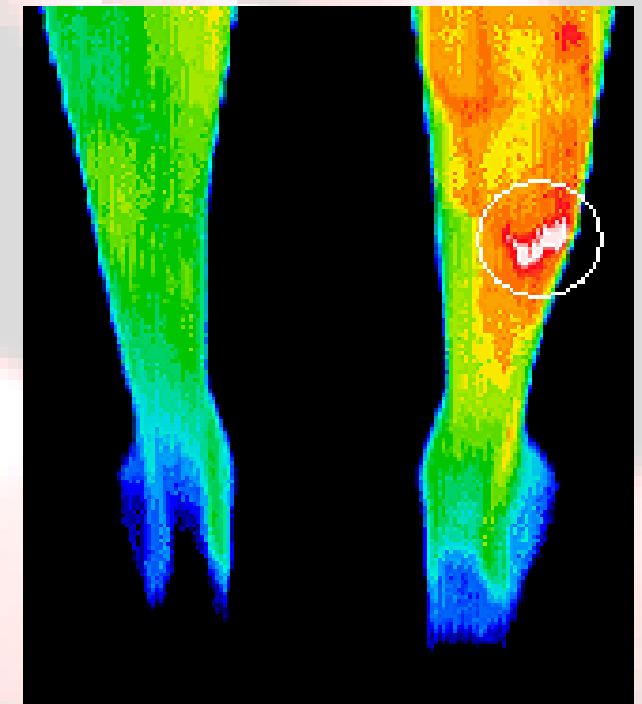
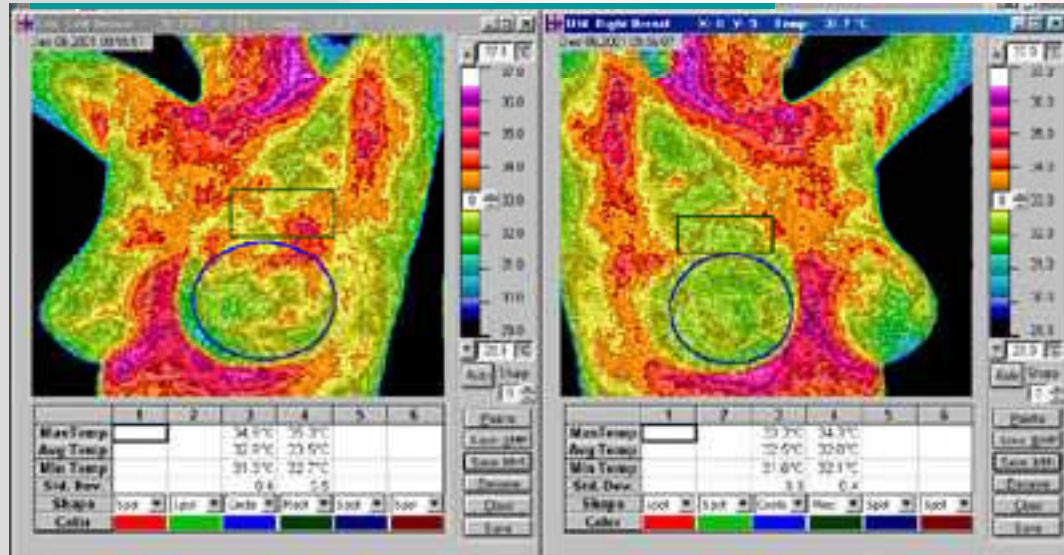
Isotherm Palette



Standard Color Palette

Pomocí termografie lze objektivizovat i některé neurologické nálezy.

www.mhs5000.com/software.htm

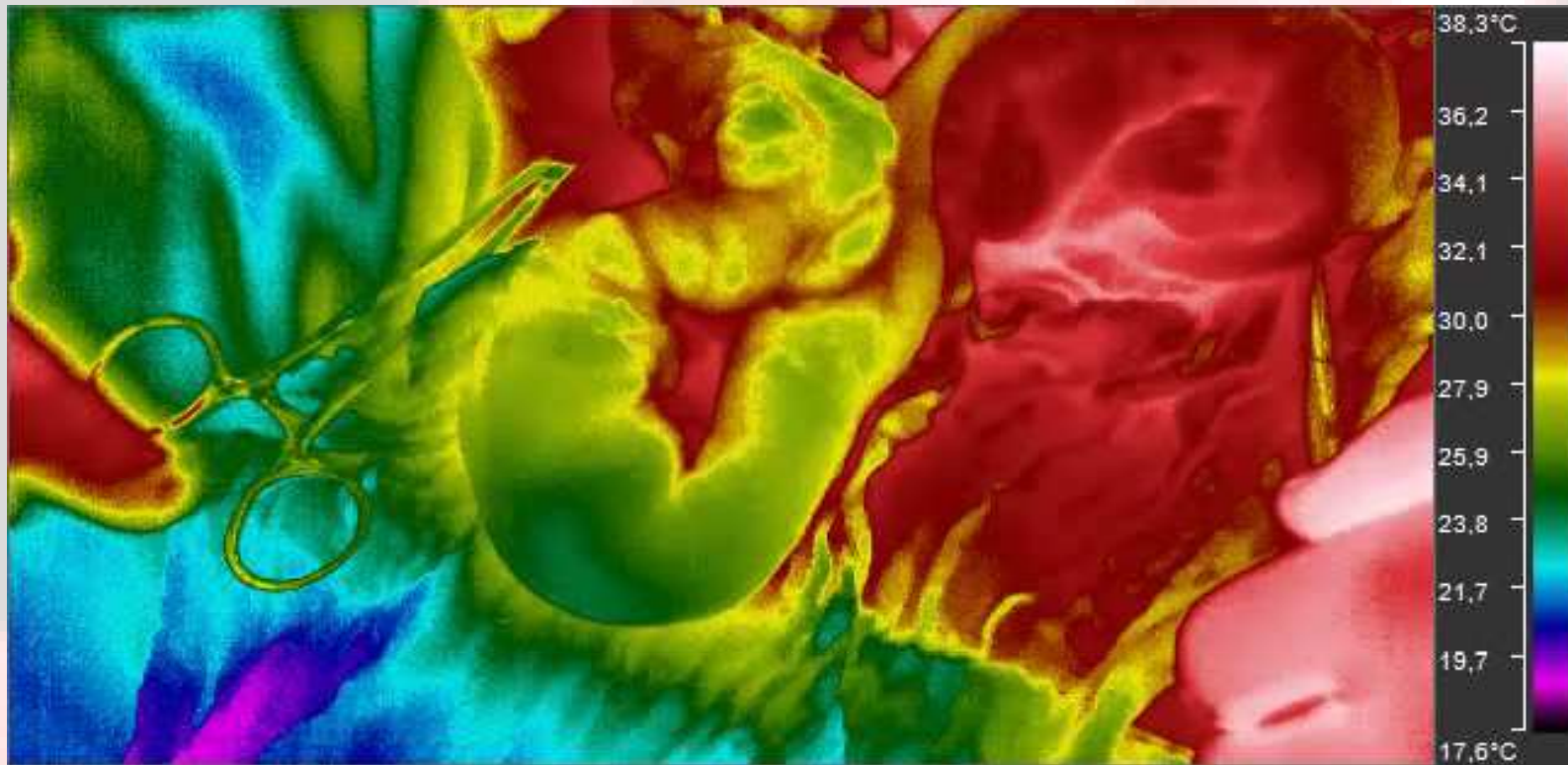


Únavová zlomenina u fotbalisty.
Rtg vyšetření neukázalo žádnou abnormitu, termografie však dobře korelovala s pacientovými stížnostmi na bolest a poskytla zdůvodnění pro více invazivní scintigrafické vyšetření, které jasně ukázalo únavovou zlomeninu přesně v tom místě, kde byl termografický nález.

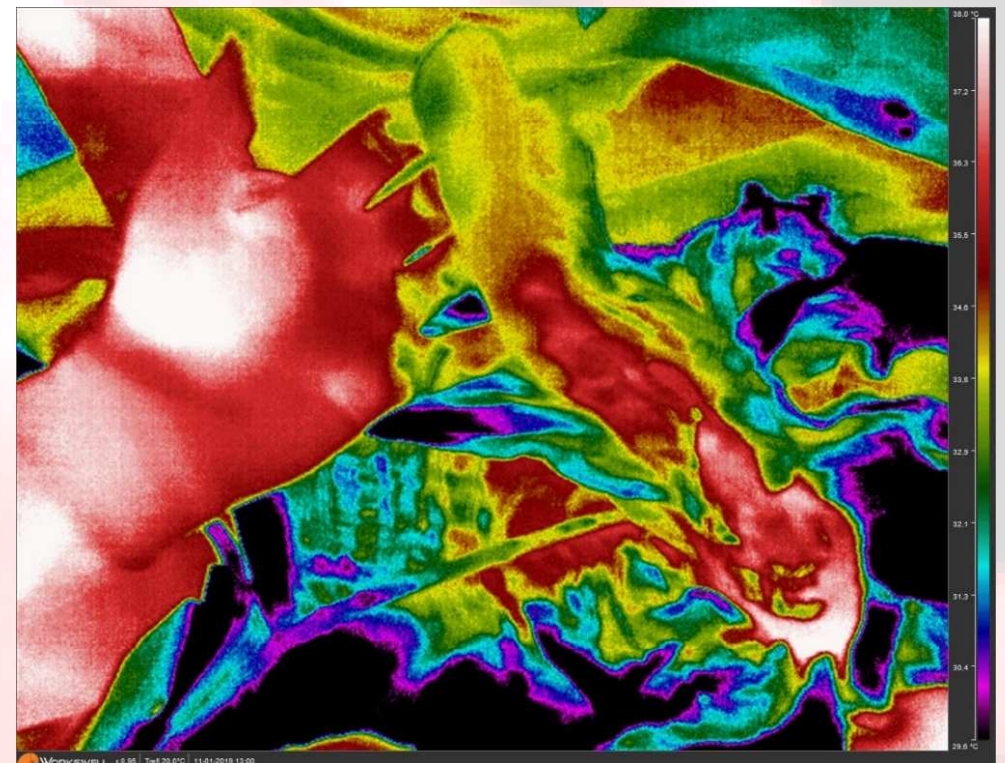
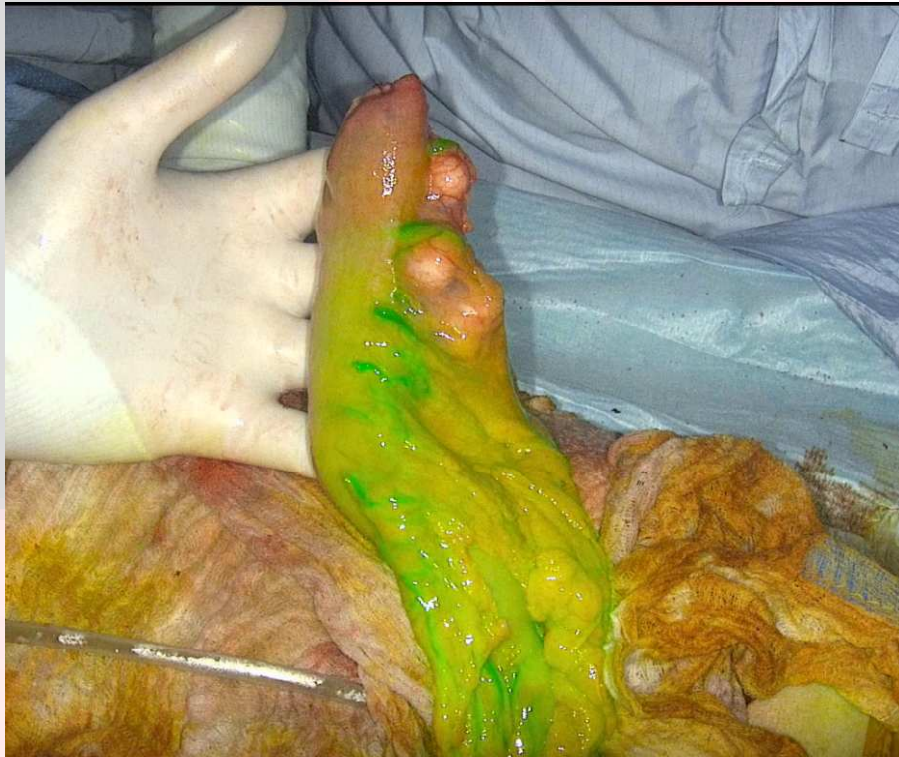
www.dititexas.com/page6.html



Chladový test prokrvení při anastomóze tlustého střeva - animace

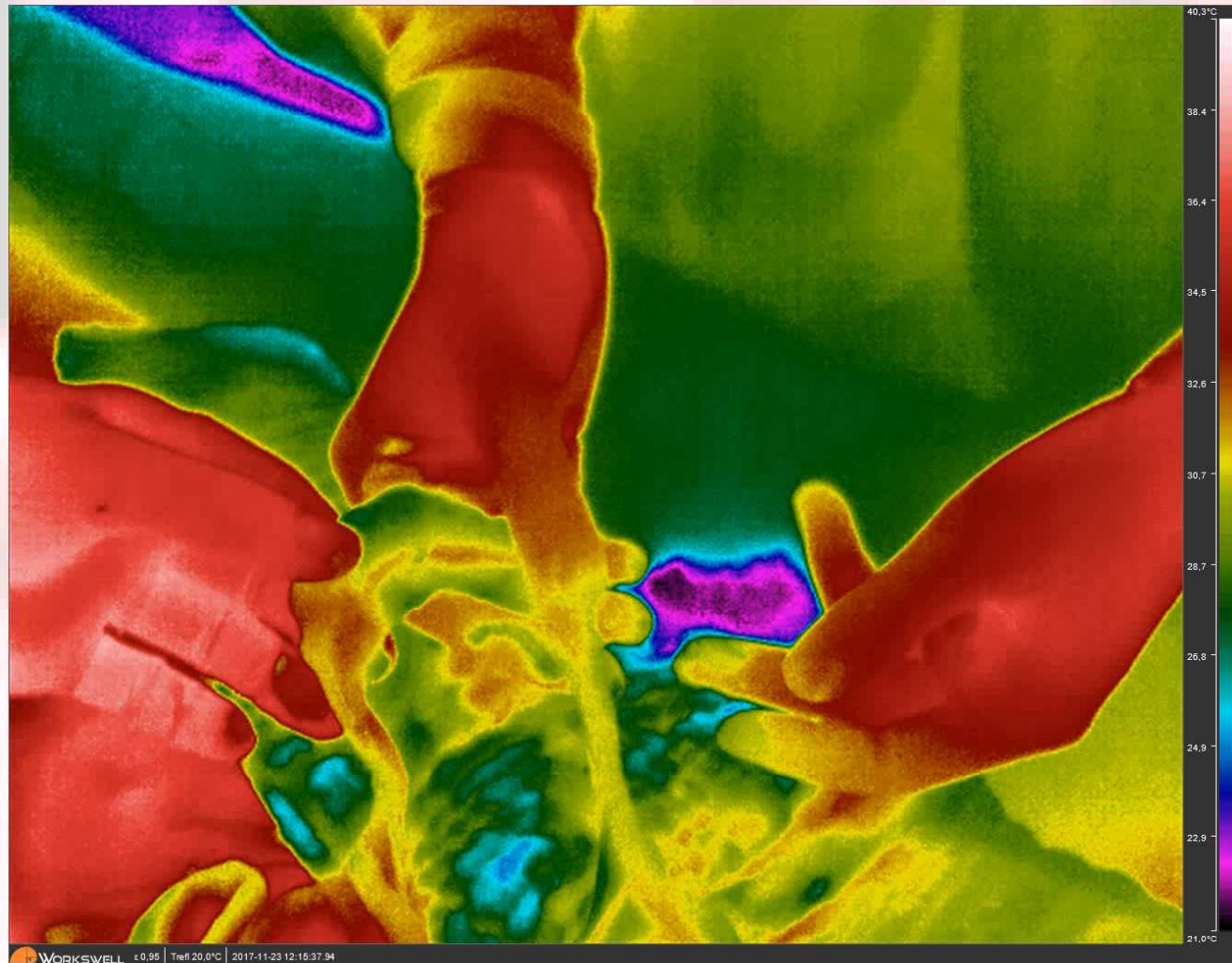


Porovnání zobrazení prokrvení metodou barvení indocyaninovou zelení a pomocí termokamery – resekce jícnu





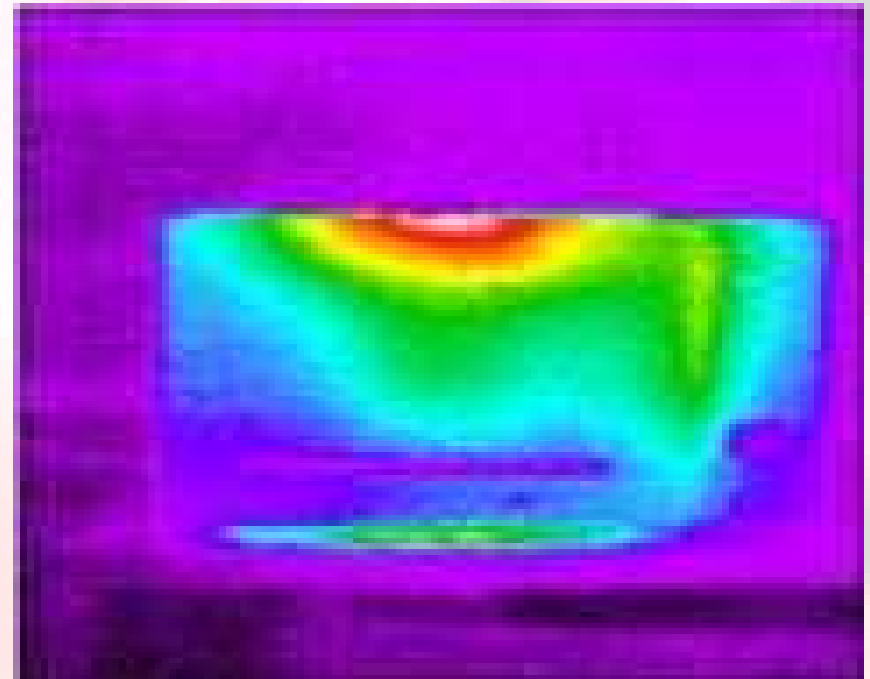
Sledování teploty při kauterizaci - animace



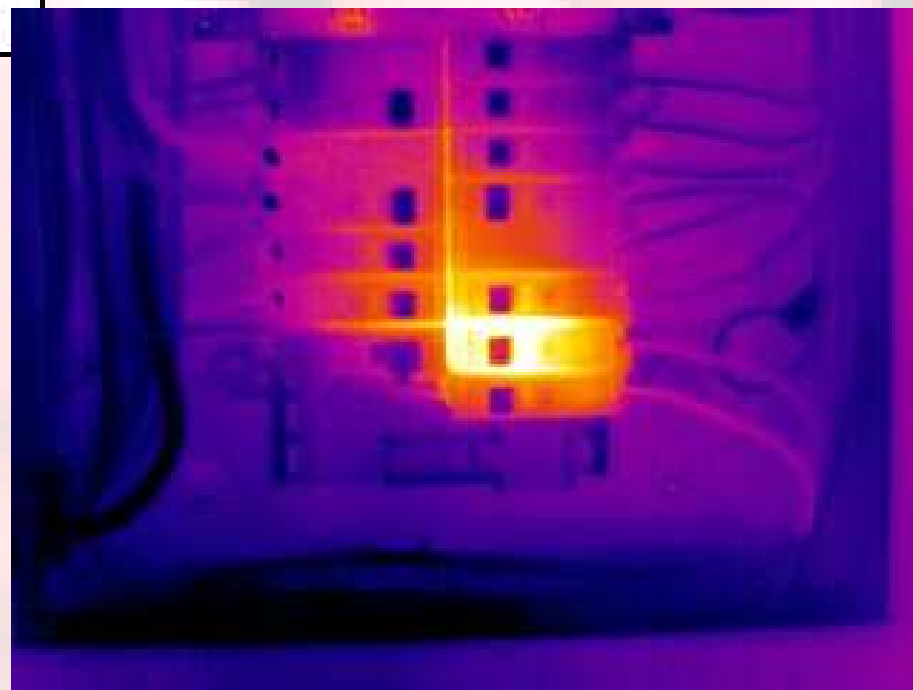
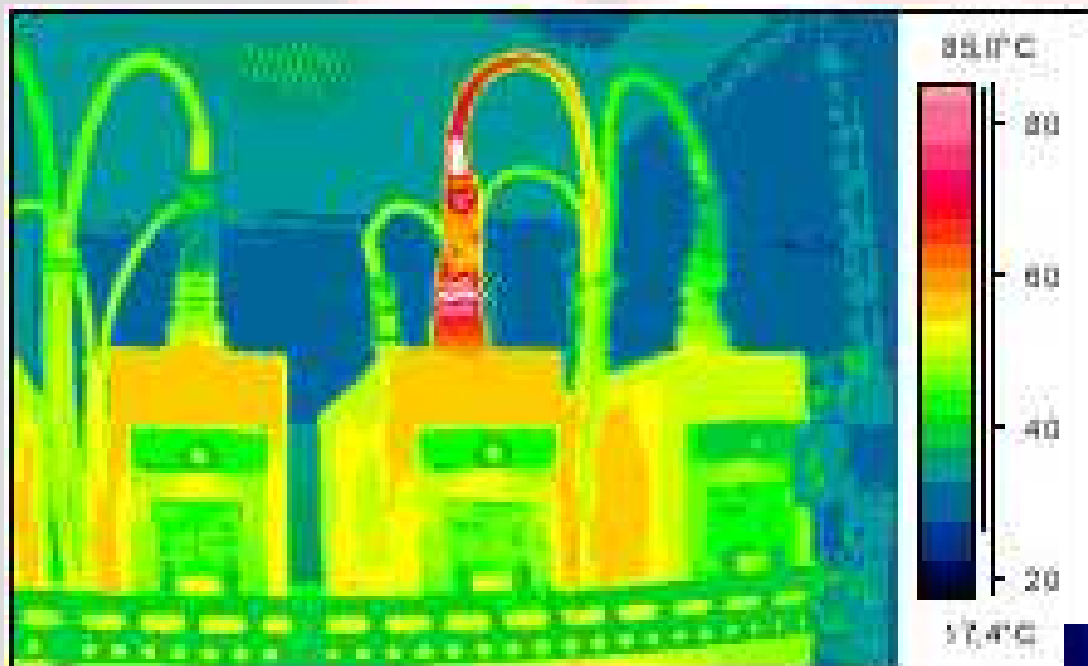


Použití IR kamer v oblasti bezpečnosti

Pec propouštějící teplo – kontrola tepelných zařízení

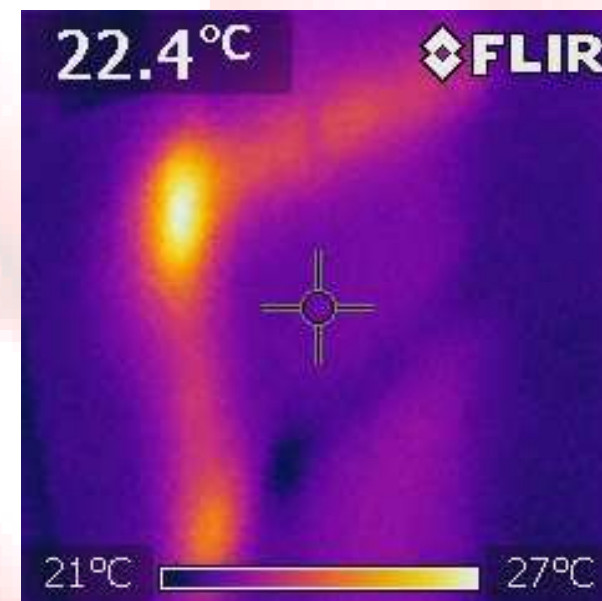
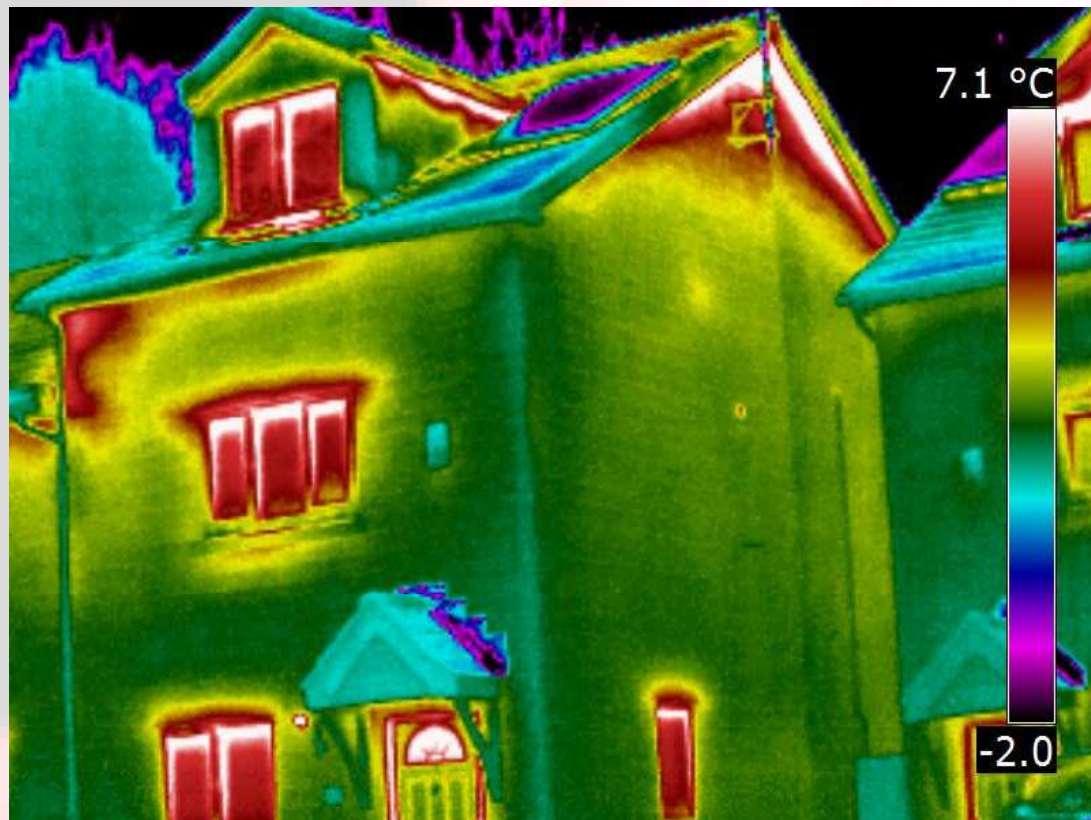


Přehřátý kabel a další prvky v rozvodné skříni



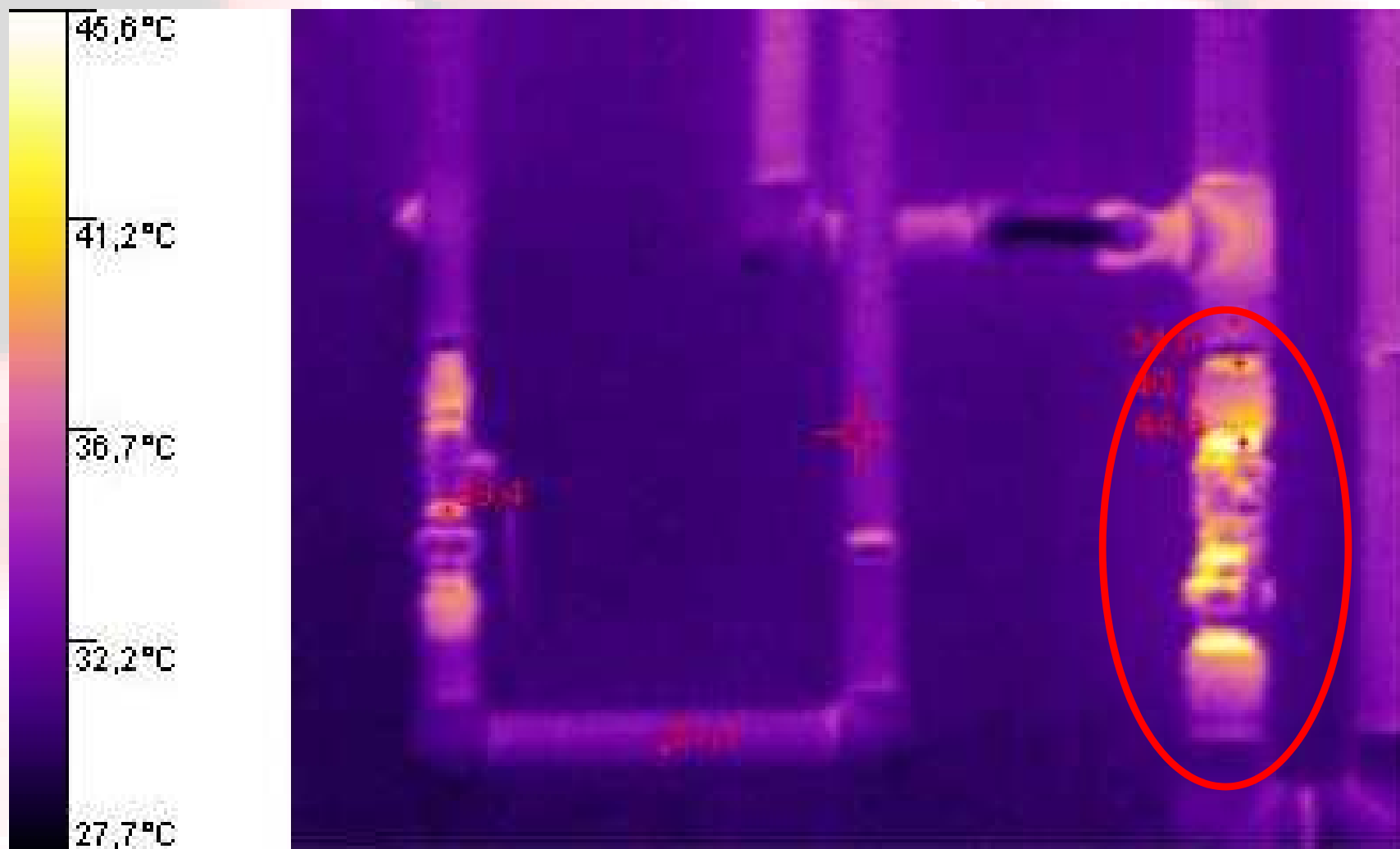


Termografie ve stavebnictví

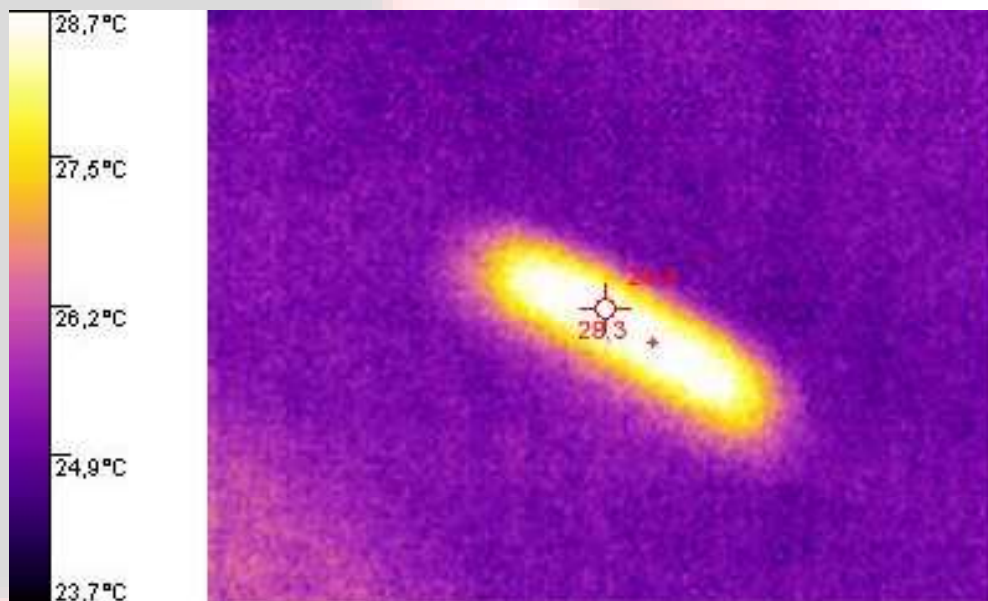


Vyhledání rozvodů vodovodního potrubí ve zdi

Nízká kvalita izolace teplovodního potrubí v oblasti spojů (Fluke)

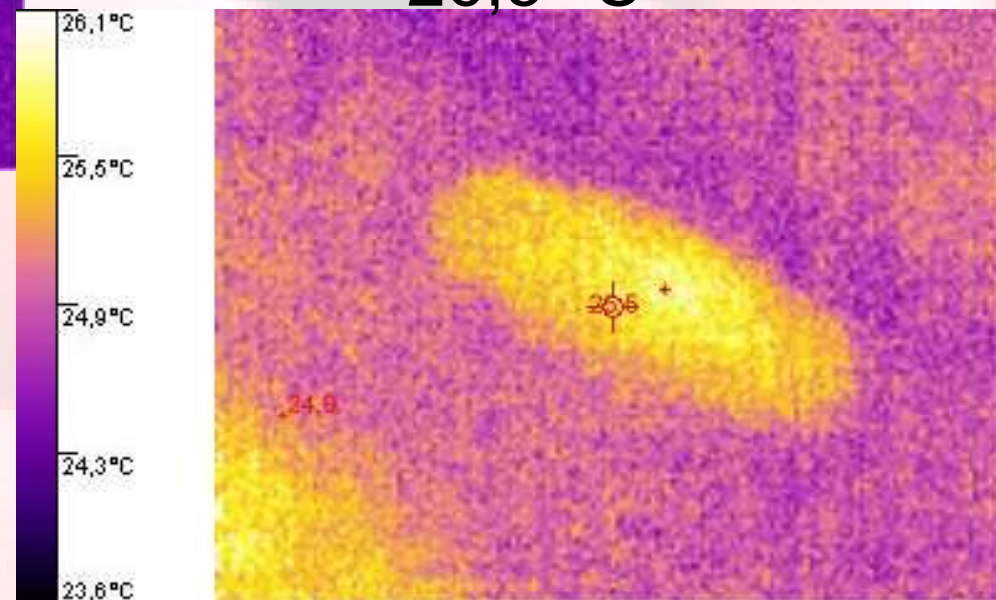


Ultrasonografická sonda (Fluke)

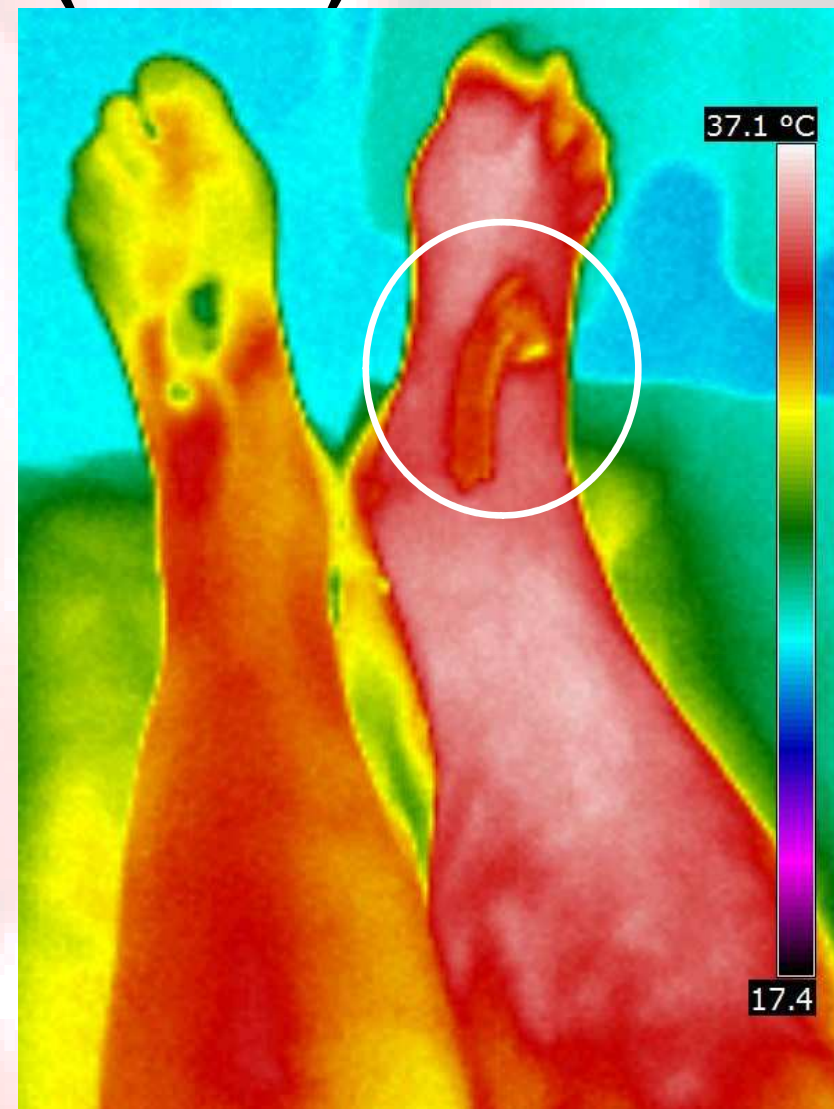
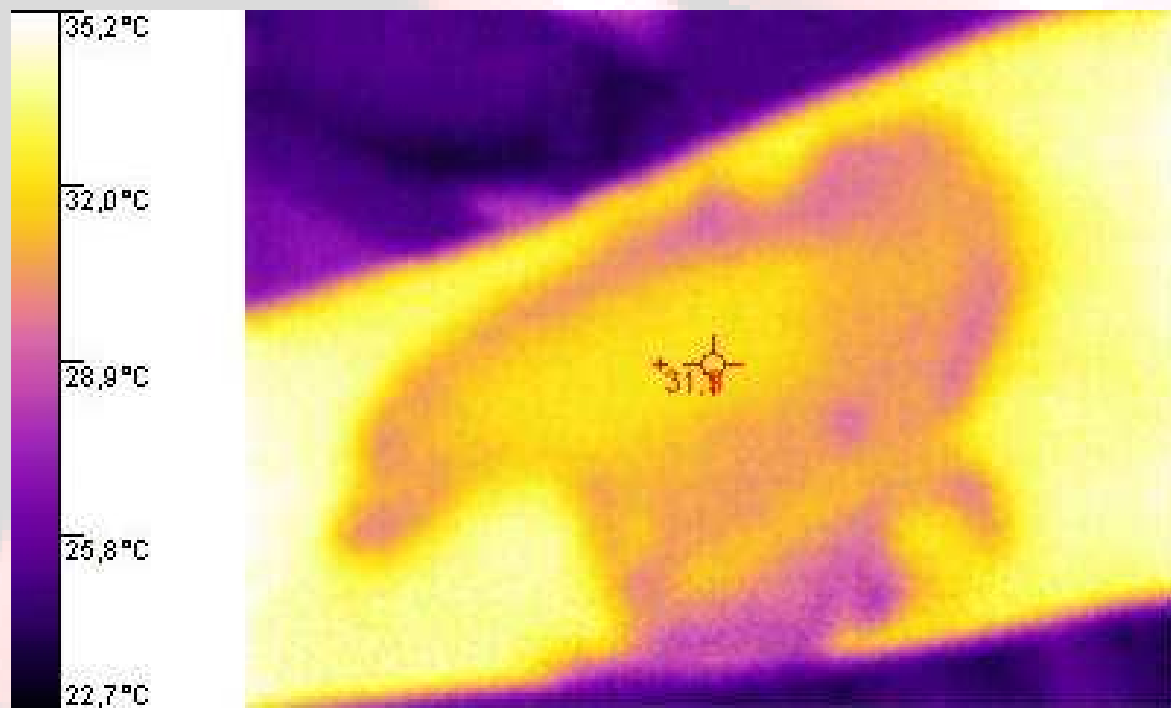


Sonda v provozu
28,3 C

Sonda „frozen“
26,5 C



Tepelná stopa zanechaná sonografickou sondou na předloktí + ochlazovací účinek kontaktního gelu na nártu (Fluke)



Autoři:

**Vojtěch Mornstein Carmel J. Caruana
Ivo Hrazdira, Erik Staffa**

Poslední revize a ozvučení: duben 2020

Poslední revize a ozvučení: duben 2020

Lucie Mornsteinová

Grafika: