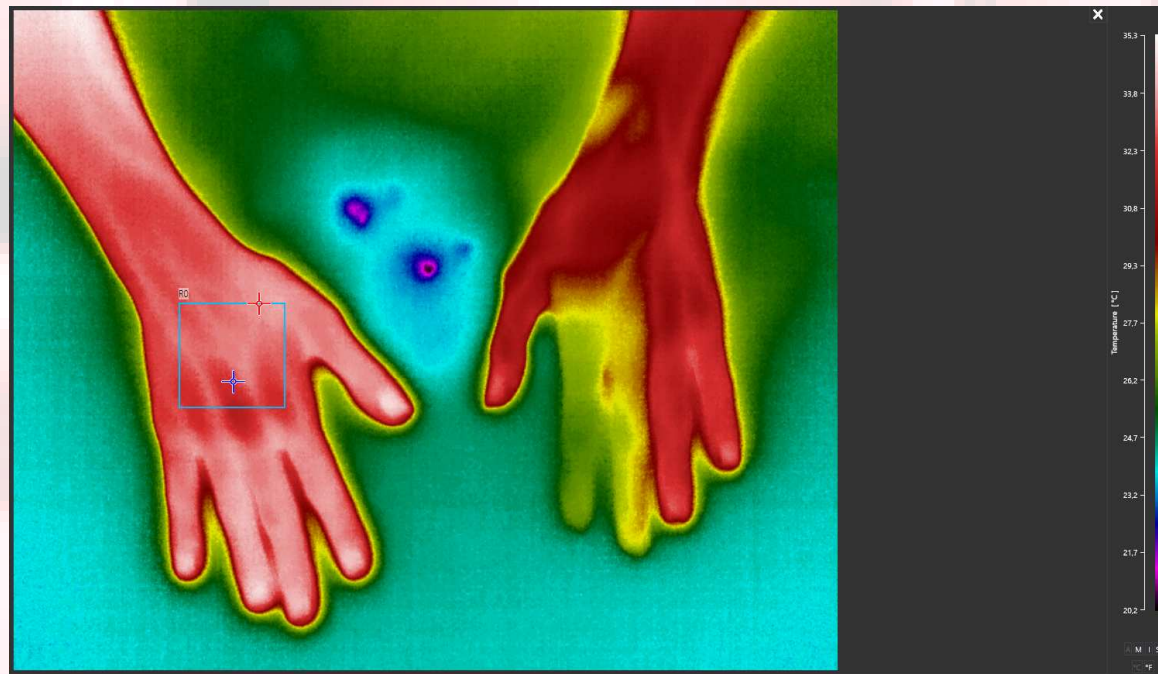




# Přednášky z lékařské biofyziky

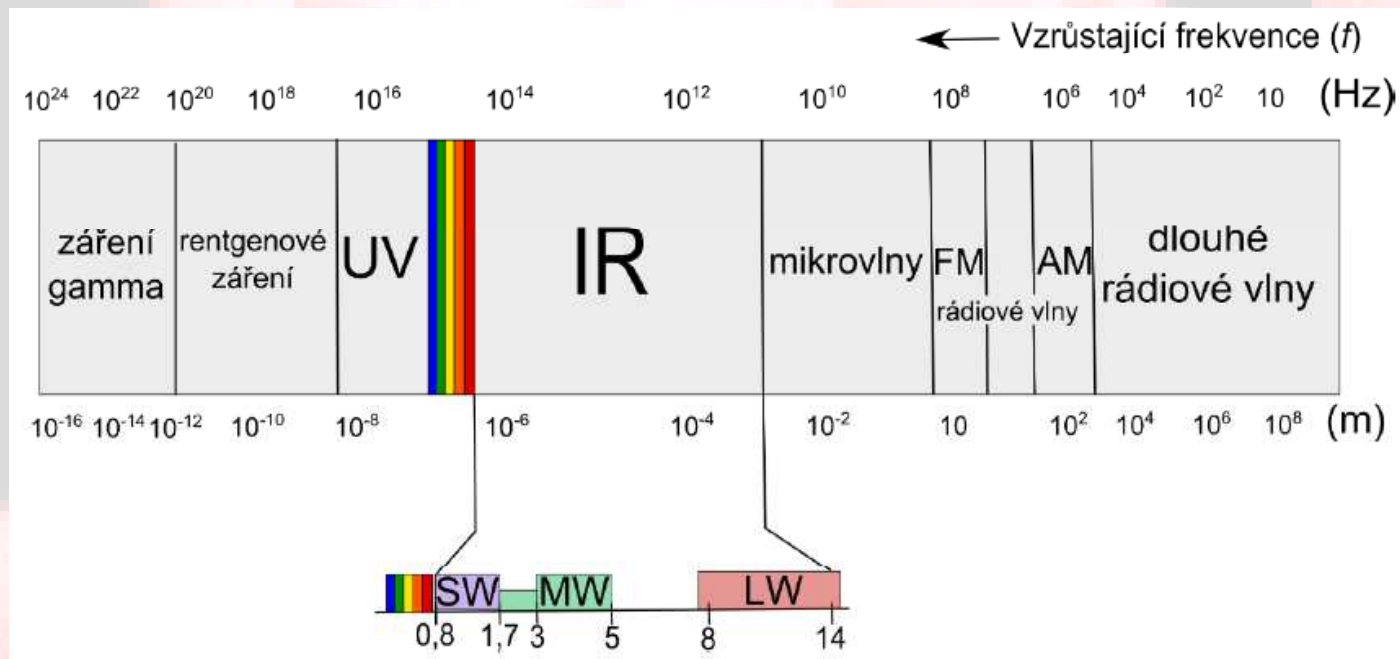
Biofyzikální ústav Lékařské fakulty  
Masarykovy univerzity, Brno



**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  $\mu\text{m}$



# Rozdělení infračerveného záření

Název	Zkratka z angl.	Vlnová délka [ $\mu\text{m}$ ]
Krátké IR	SWIR	0,9–2,5
Střední IR	MWIR	2–5
Dlouhé IR	LWIR	7–14

- **IR-A (760 nm – 1,4  $\mu\text{m}$ )**
- **IR-B (1,4 – 3  $\mu\text{m}$ )**
- **IR-C (3 – 1000  $\mu\text{m}$ )**

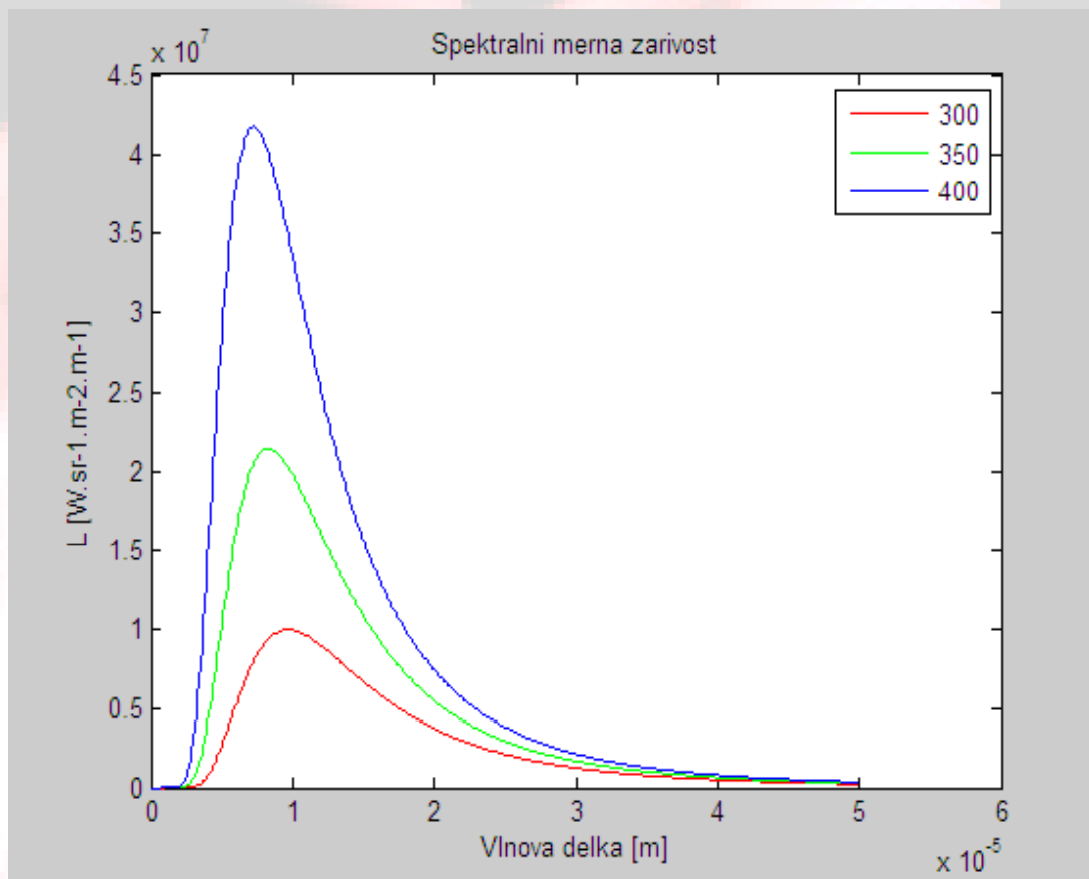


# Planckův vyzařovací zákon

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

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

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



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



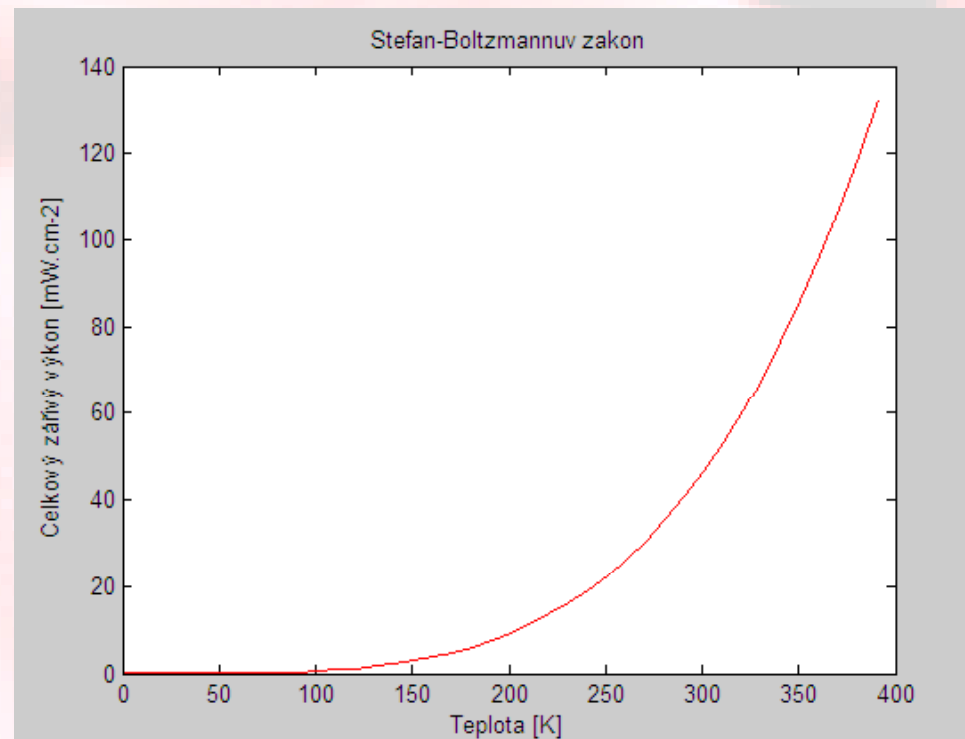
# Stefan-Boltzmanův zákon

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

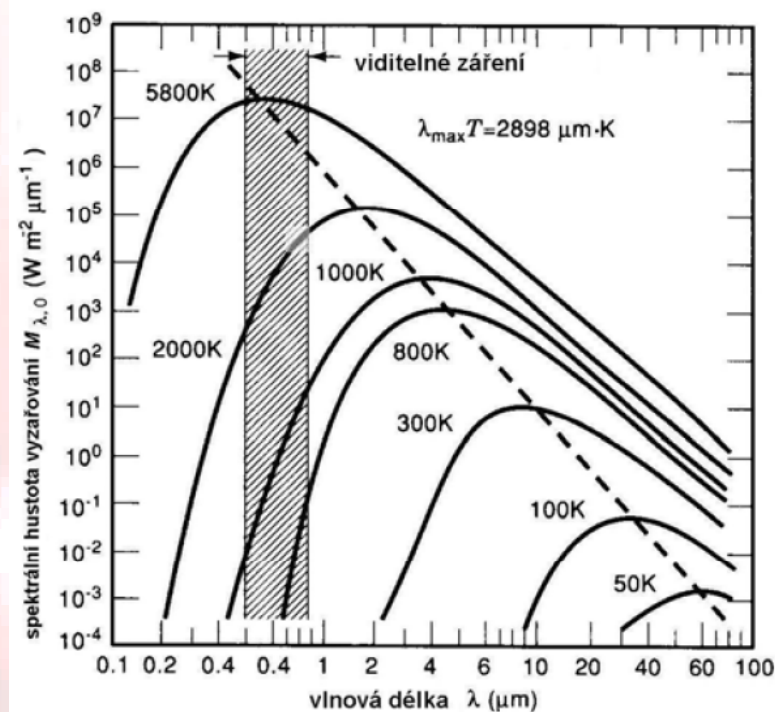
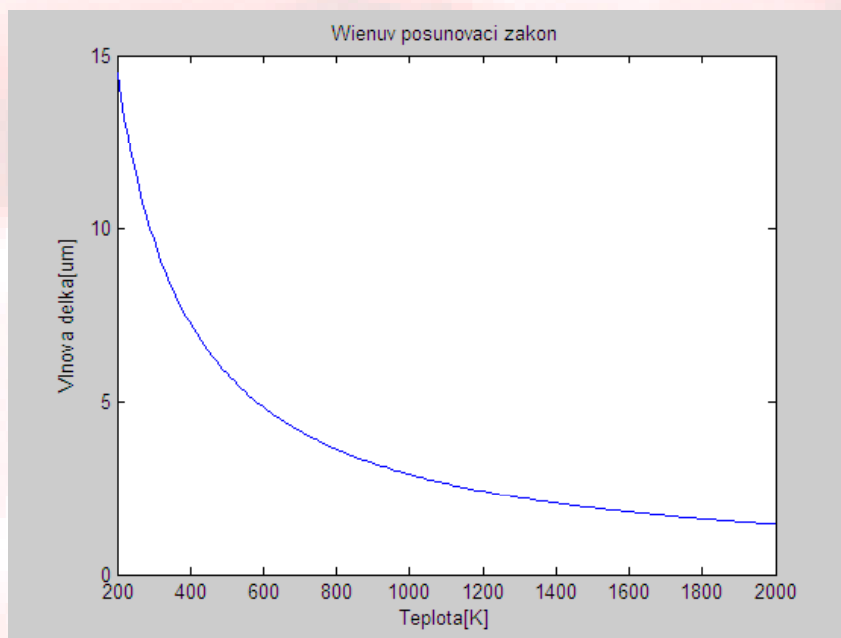
$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

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:

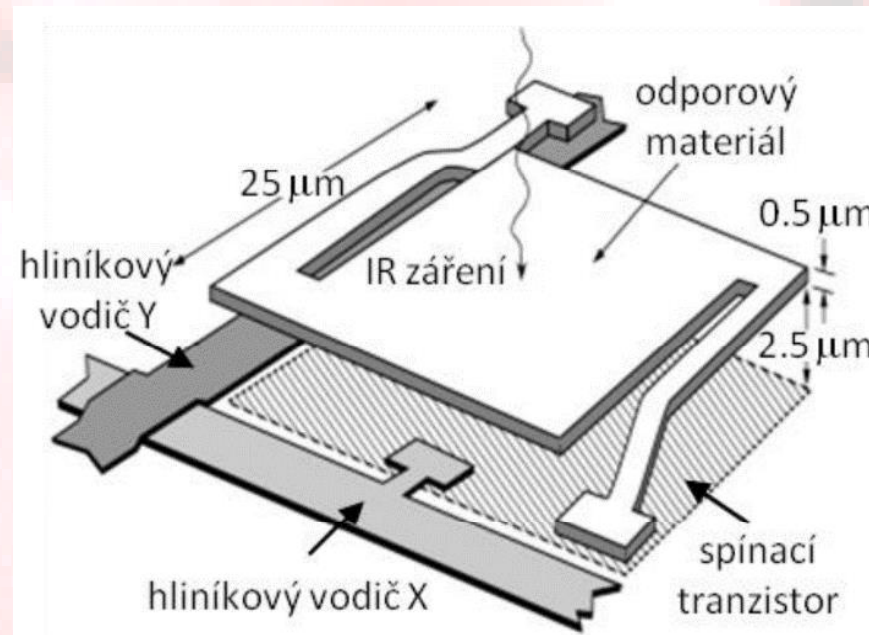




# Princip snímání obrazu

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<sup>®</sup>**

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

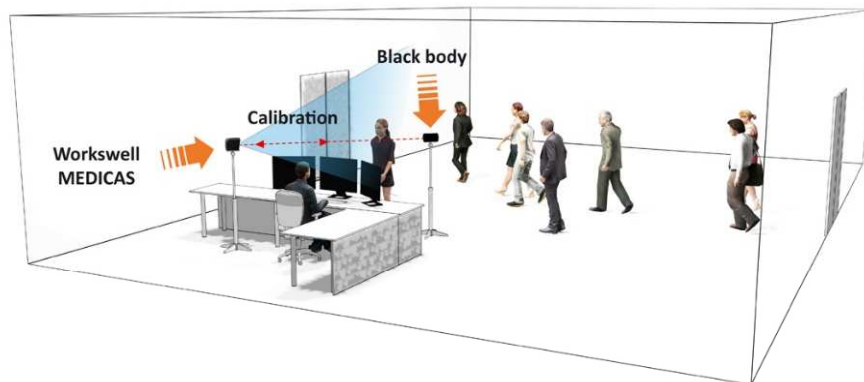
Společnost Workswell reaguje na vysoké riziko globálního šíření infekčních chorob (aktuálně ve spojení s **corona virem**) a investovala prostředky na vybudování termovizního **plug & play systému** s názvem Workswell **MEDICAS**.

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**

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



- termovizní kontroly na letištích (chřipkové epidemie)



Tchaj-wan  
Letiště Taipei  
– 4/2019



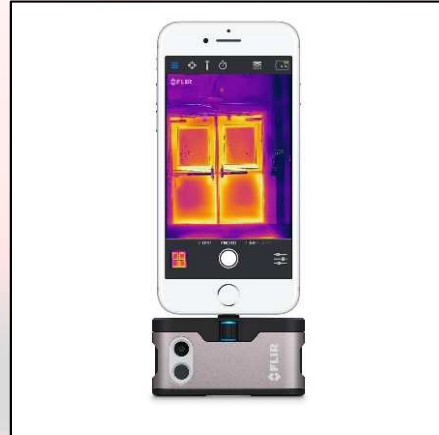


# Vybavení pro měření IR na Biofyzikálnímu ústavu LF MU, Brno

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.

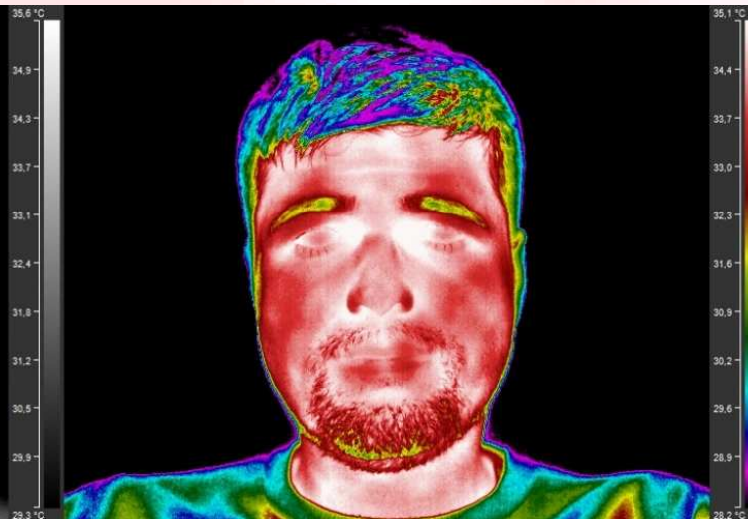
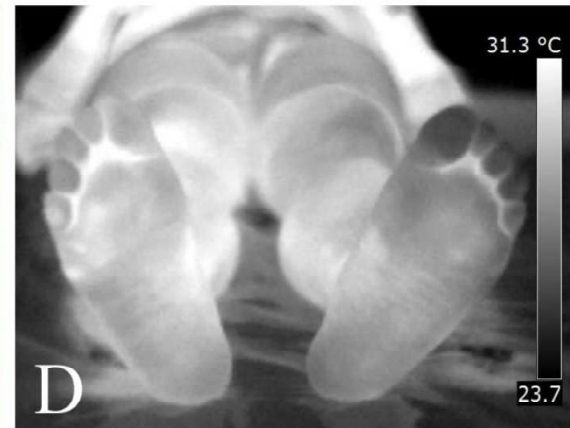
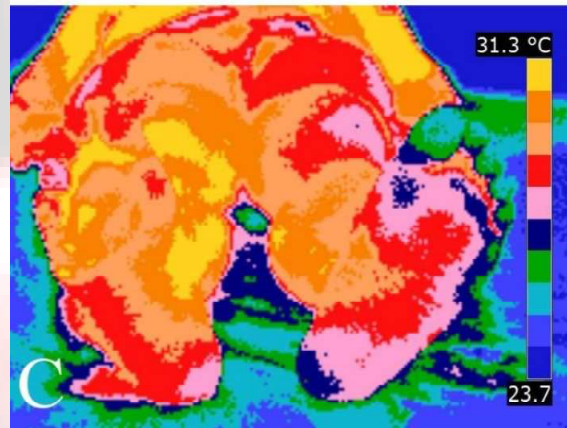
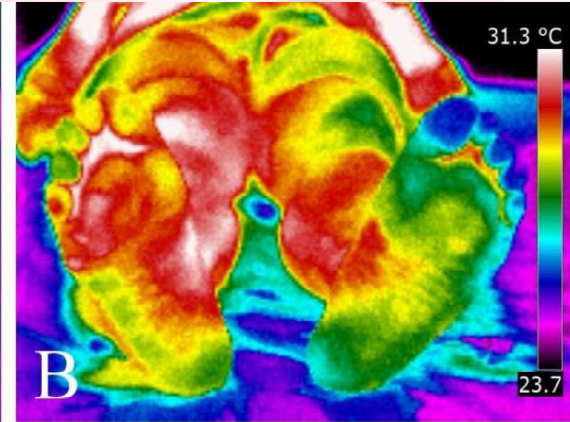
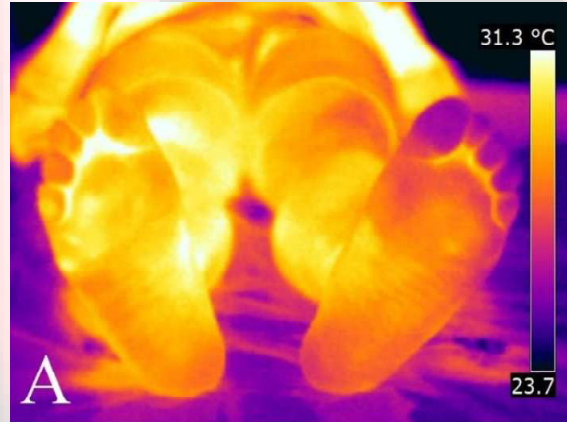
Vyšetřovaná část těla musí být v průběhu aklimatizace odhalena.

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



# **Klinické termogramy**

# Různé palety pseudobarev



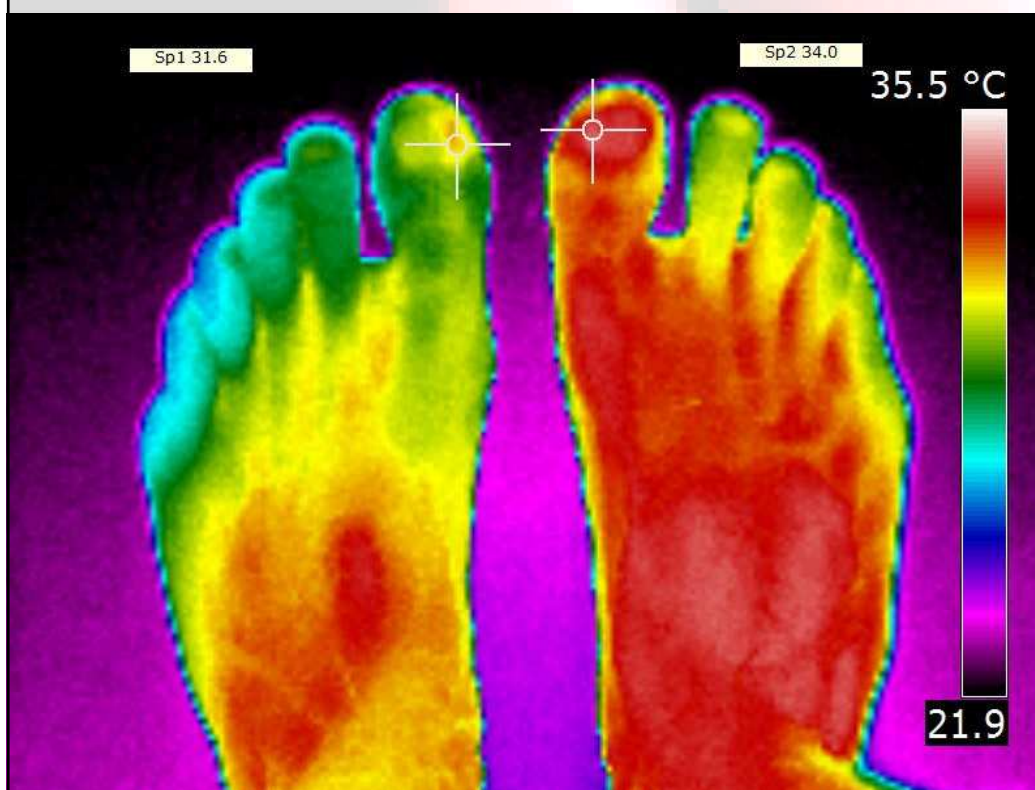




- Paréza n. ulnaris – chladový test 3min (nahore)



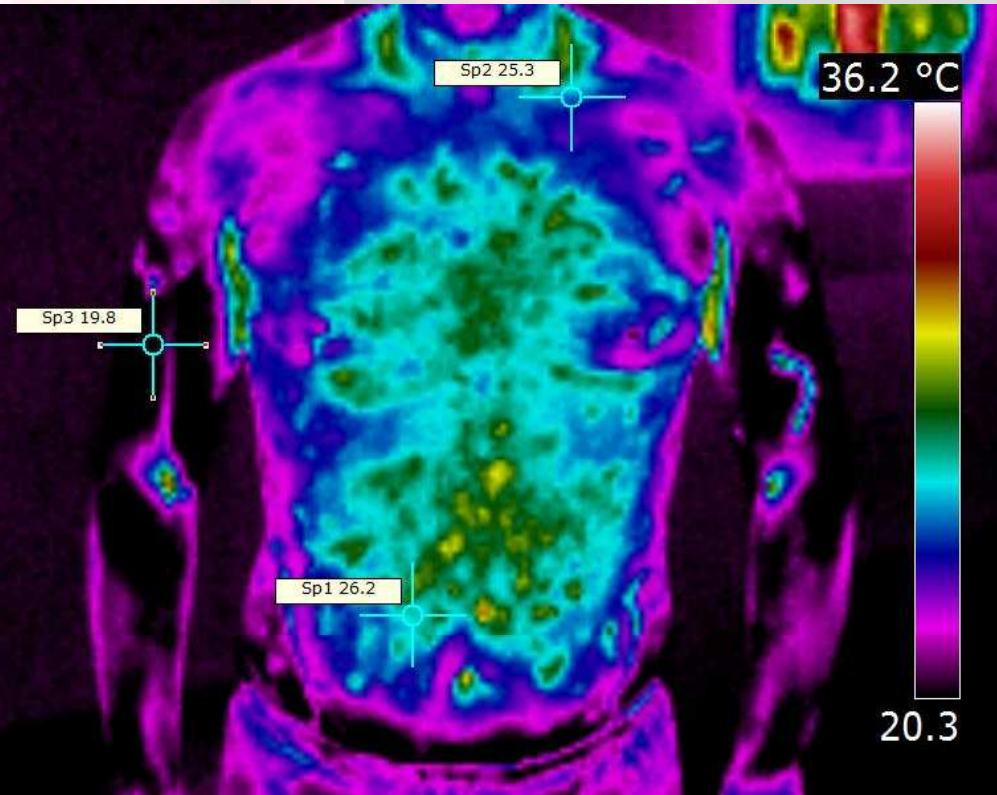
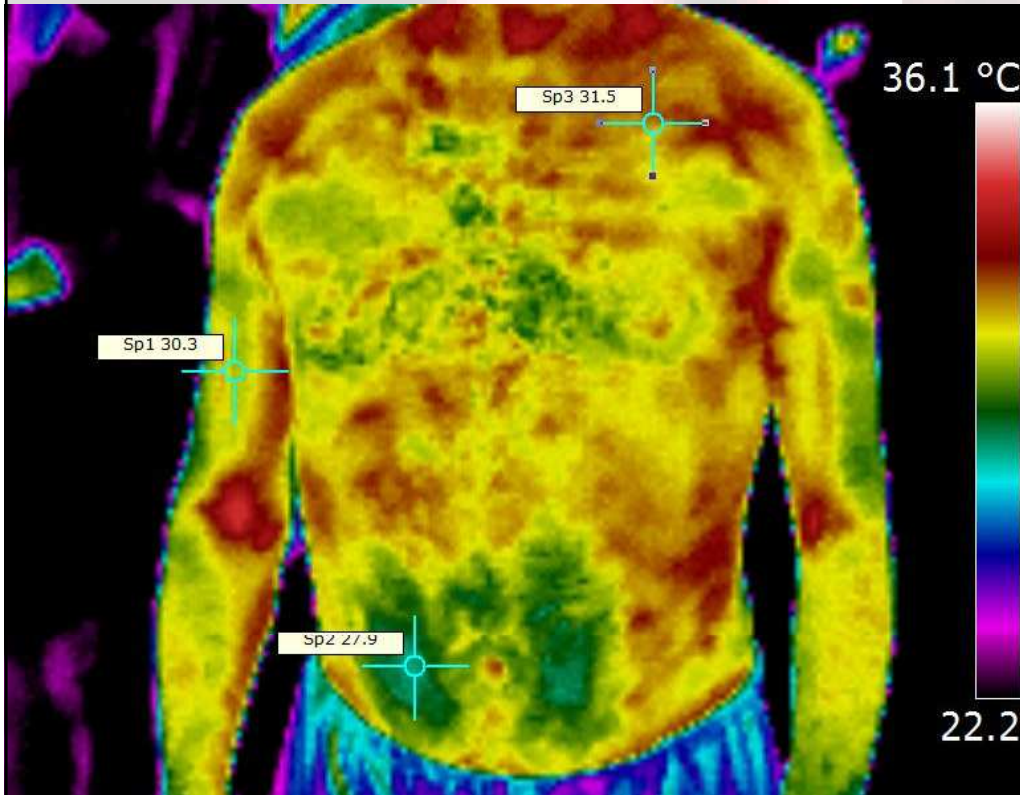
## Zánět v oblasti lůžka nehtu palce (Flir b200)







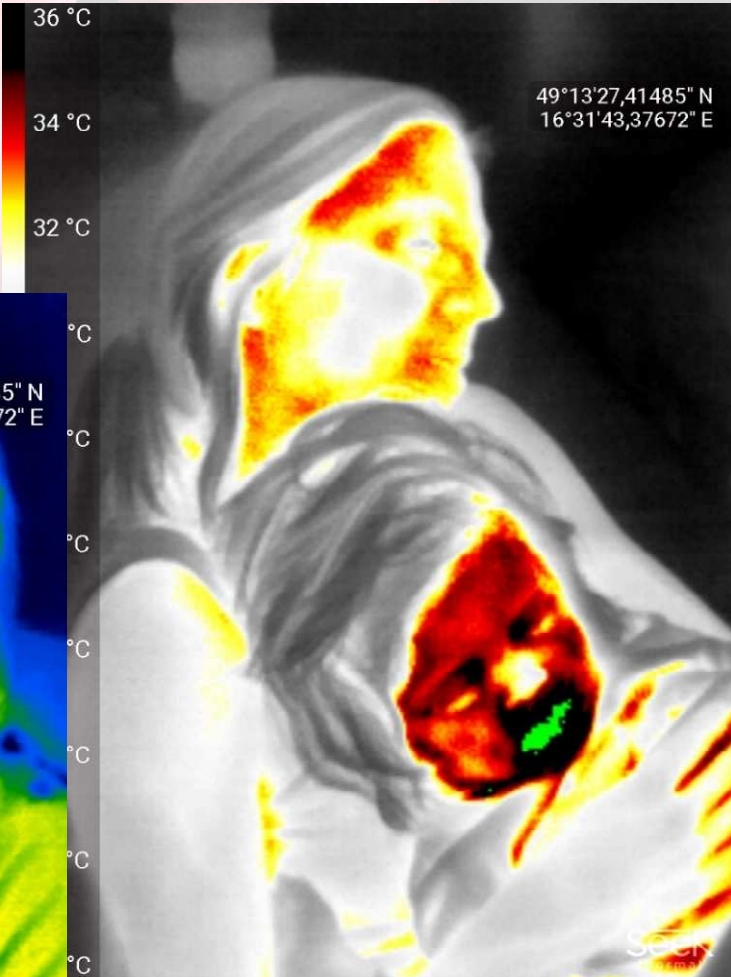
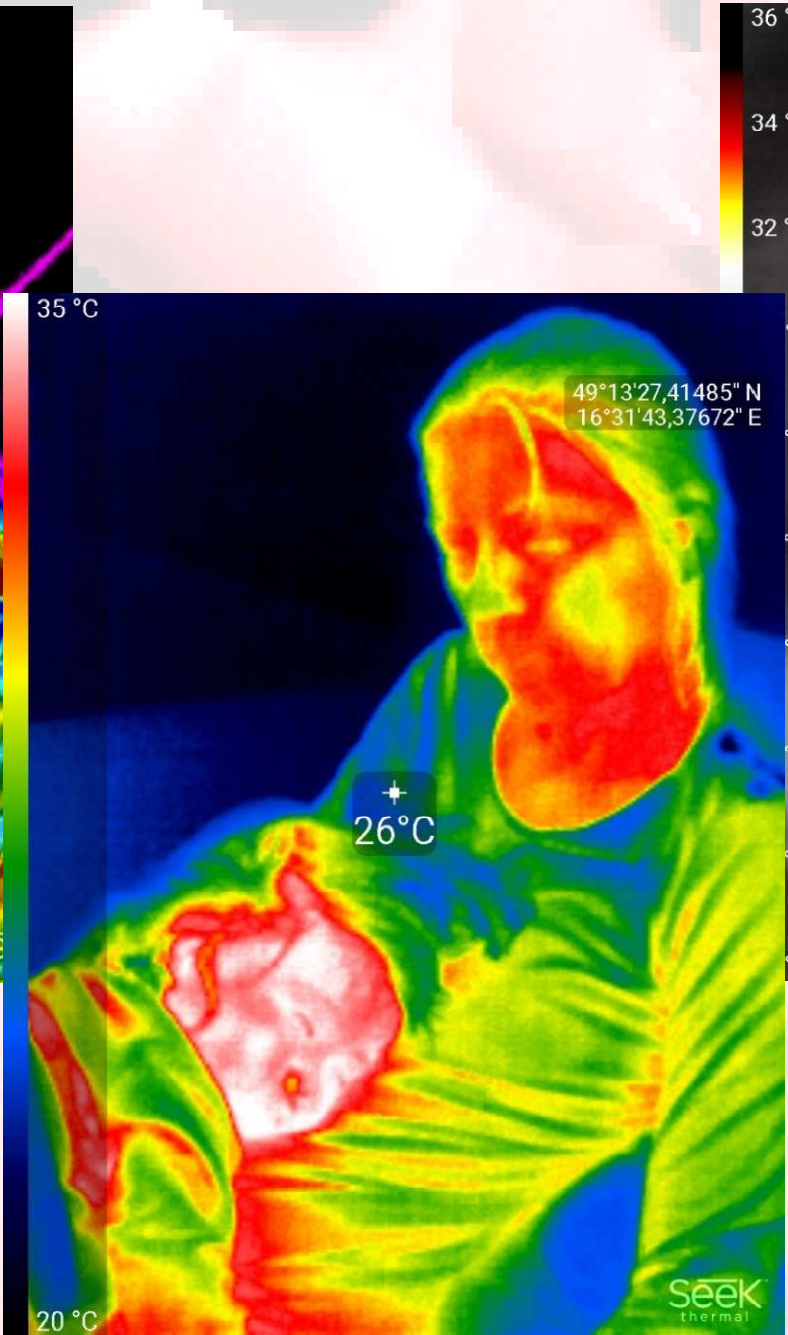
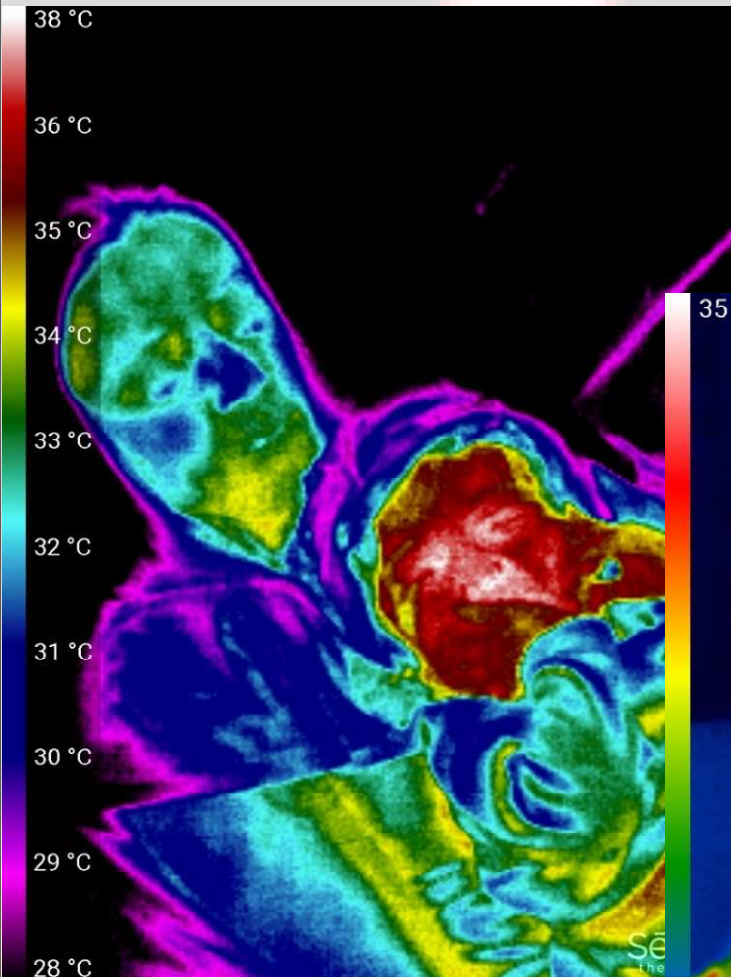
# Před vstupem a po výstupu z kryokomory







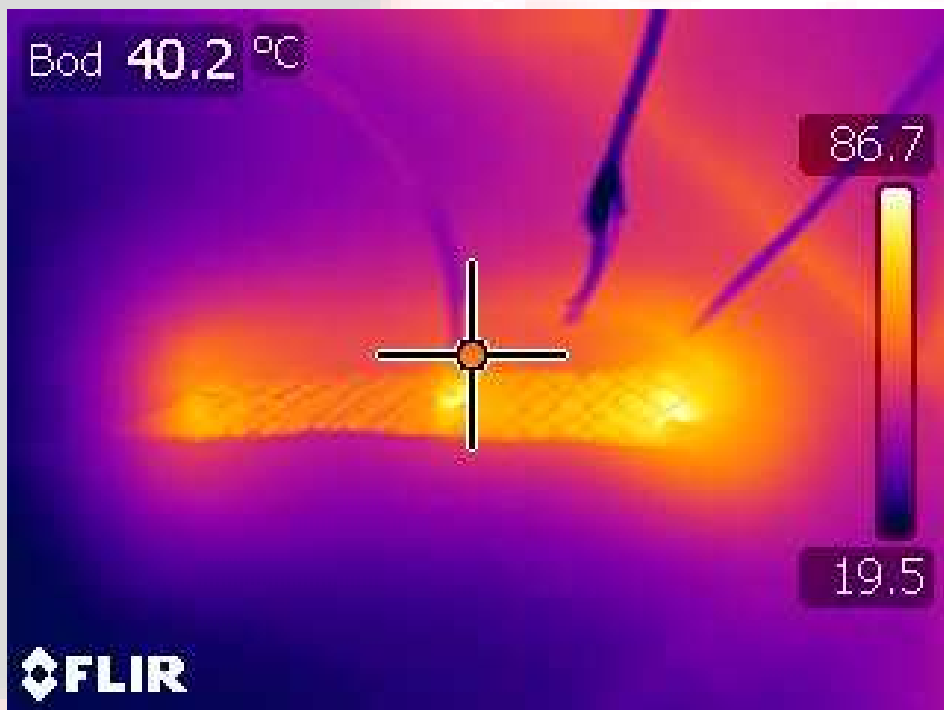
# Termogram horečky u dítěte







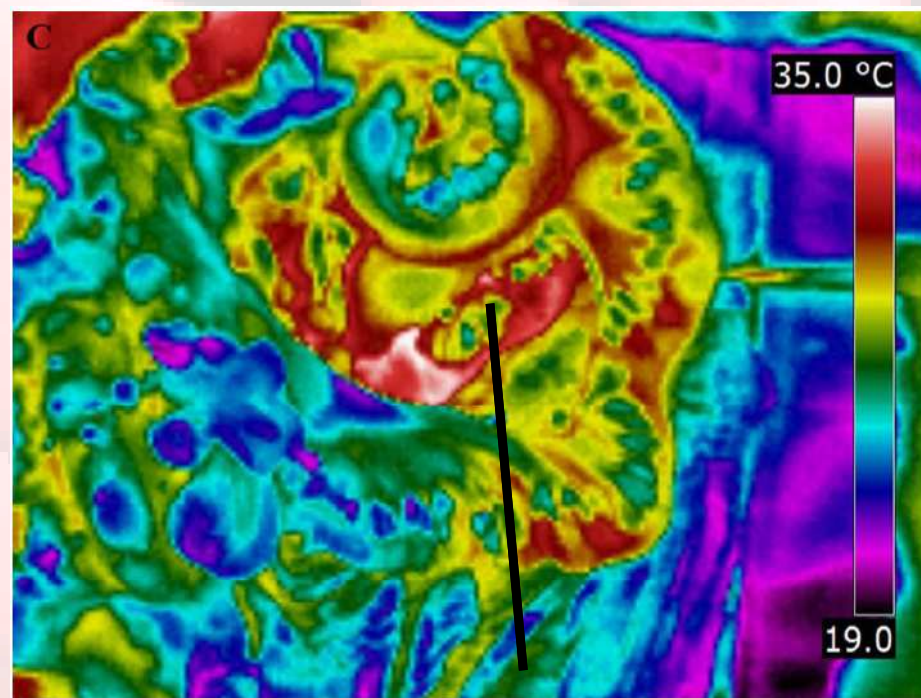
# Klinická termografie



Ohřev stentu pomocí radioablačního zařízení (experiment)

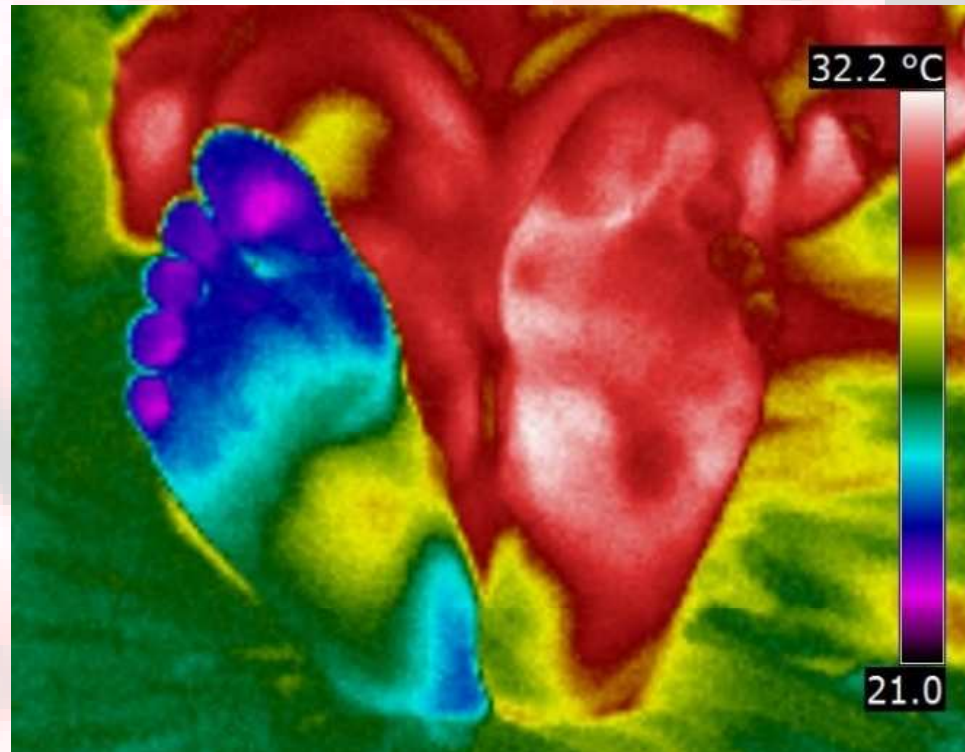


Identifikace části střeva pro resekci (experiment)





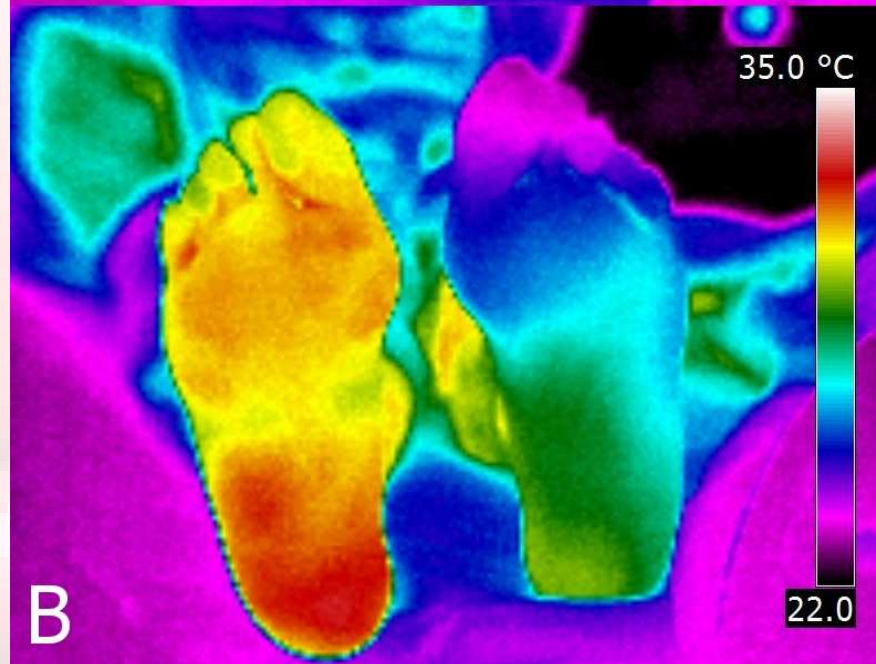
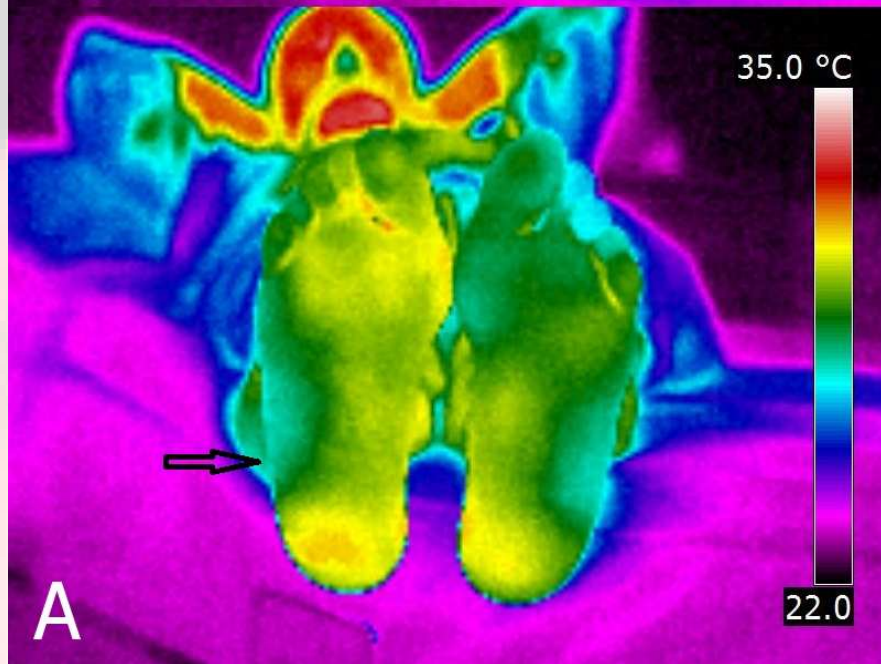
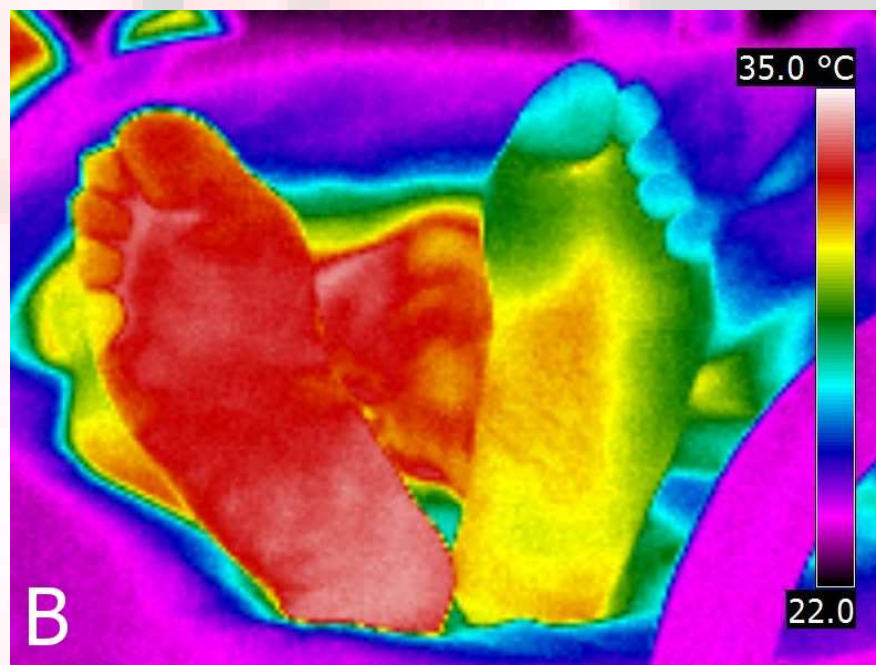
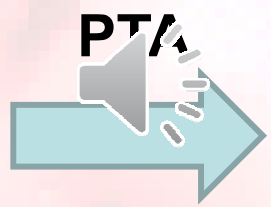
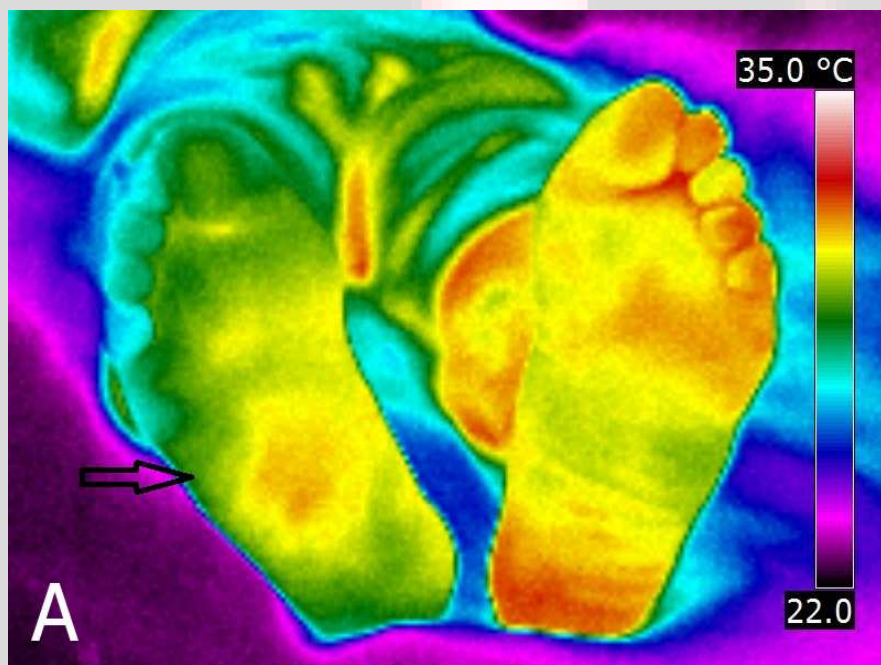
# Klinická termografie



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



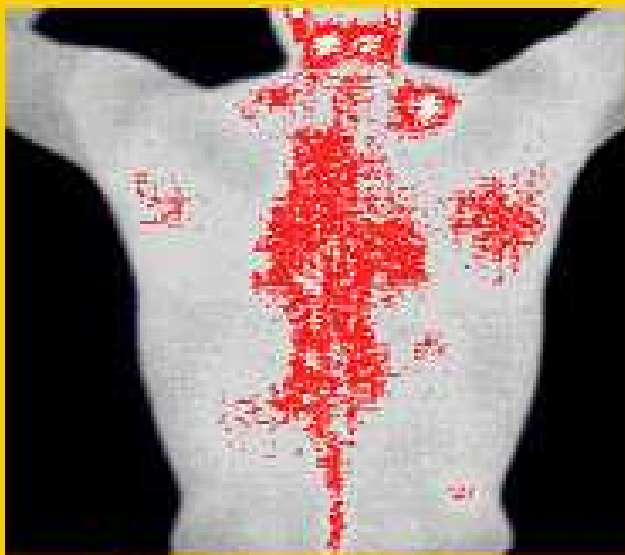
# Efekt revaskularizace DK pomocí perkutánní transluminární angioplastiky (PTA)



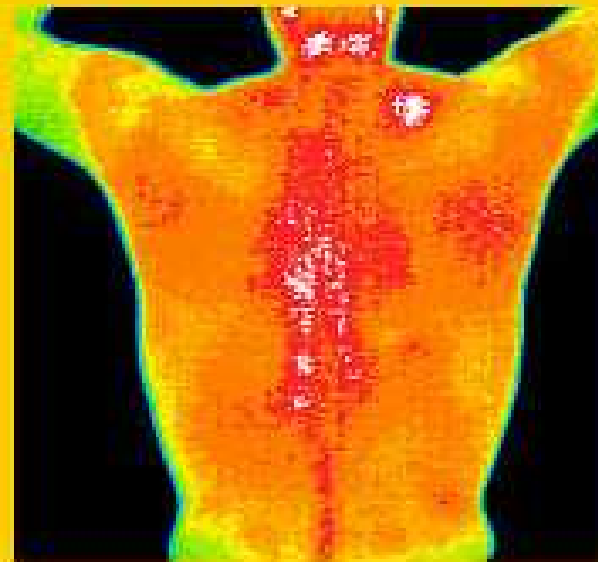
Myofascial Trigger Point Upper Right Levator Scapula

Diffuse Patterns Of Hyperthermia Over Central Spine

Cervical Inflammation



Isotherm Palette

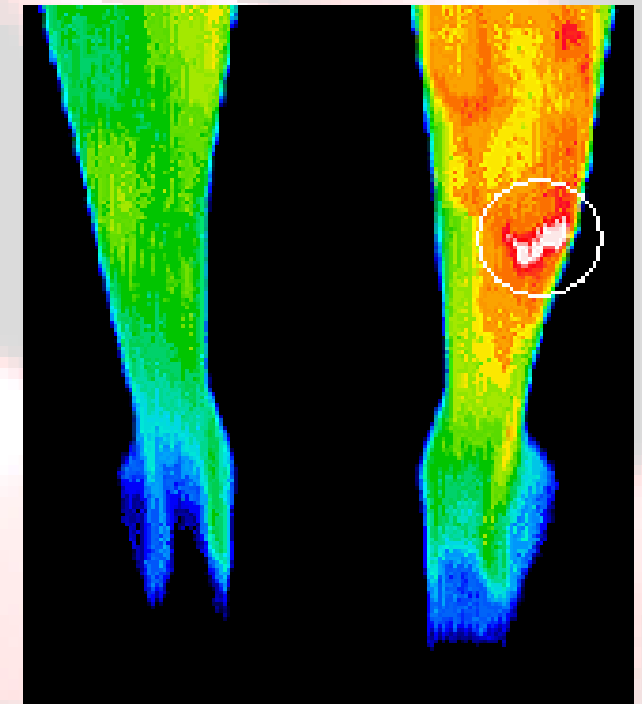
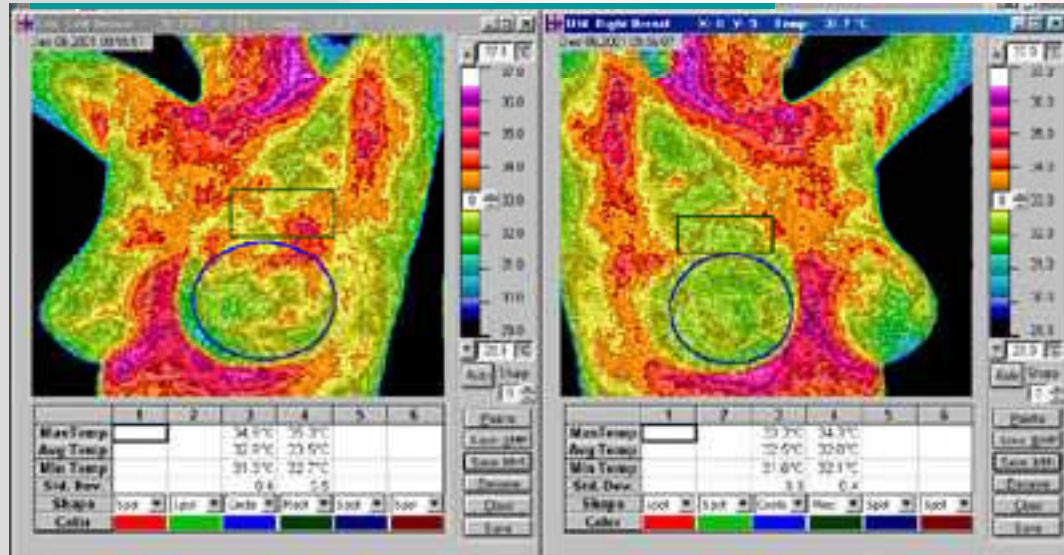


Standard Color Palette

**Pomocí termografie lze objektivizovat i některé neurologické nálezy.**



[www.mhs5000.com/software.htm](http://www.mhs5000.com/software.htm)

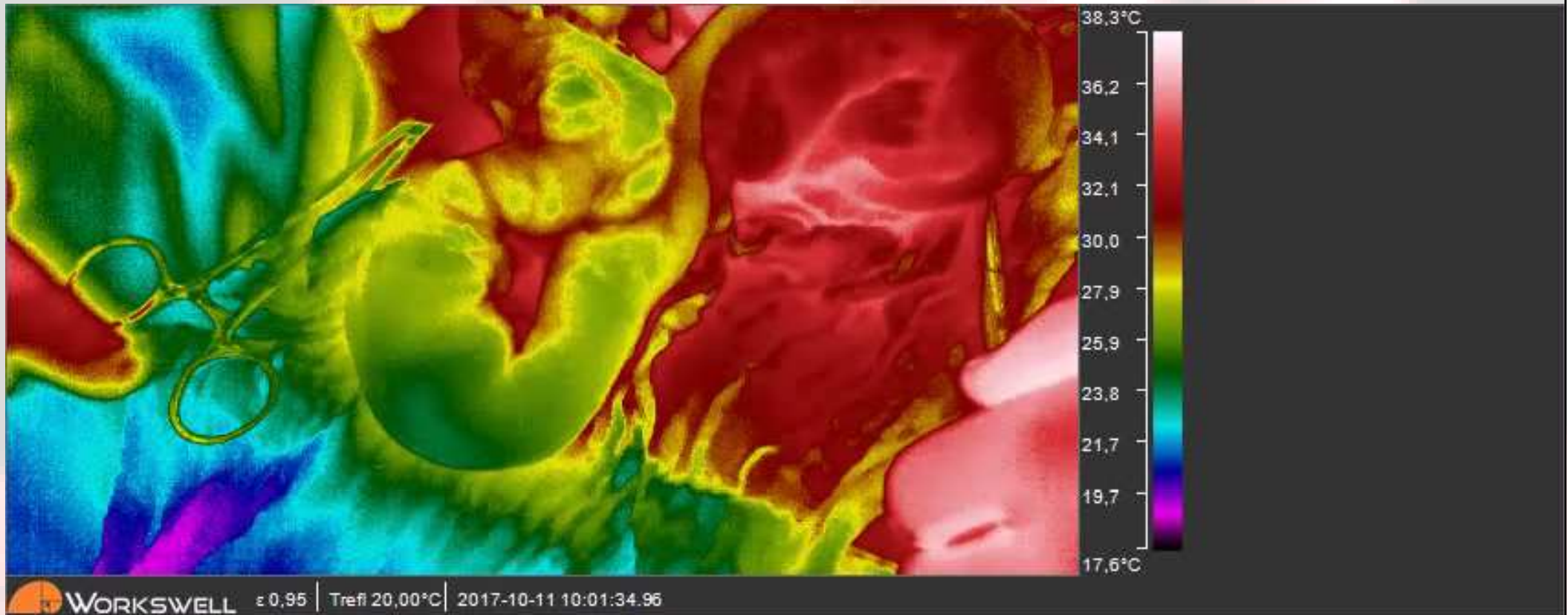


**Únavová zlomenina u fotbalisty.**  
Rtg vyšetření neukázalo žádnou abnormitu, termografie však dobře korelovala s pacientovými stížnostmi na bolest a poskytla zdůvodnění pro více invazivní scintigrafické vyšetření, které jasně ukázalo únavovou zlomeninu přesně v tom místě, kde byl termografický nález.

[www.dititexas.com/page6.html](http://www.dititexas.com/page6.html)

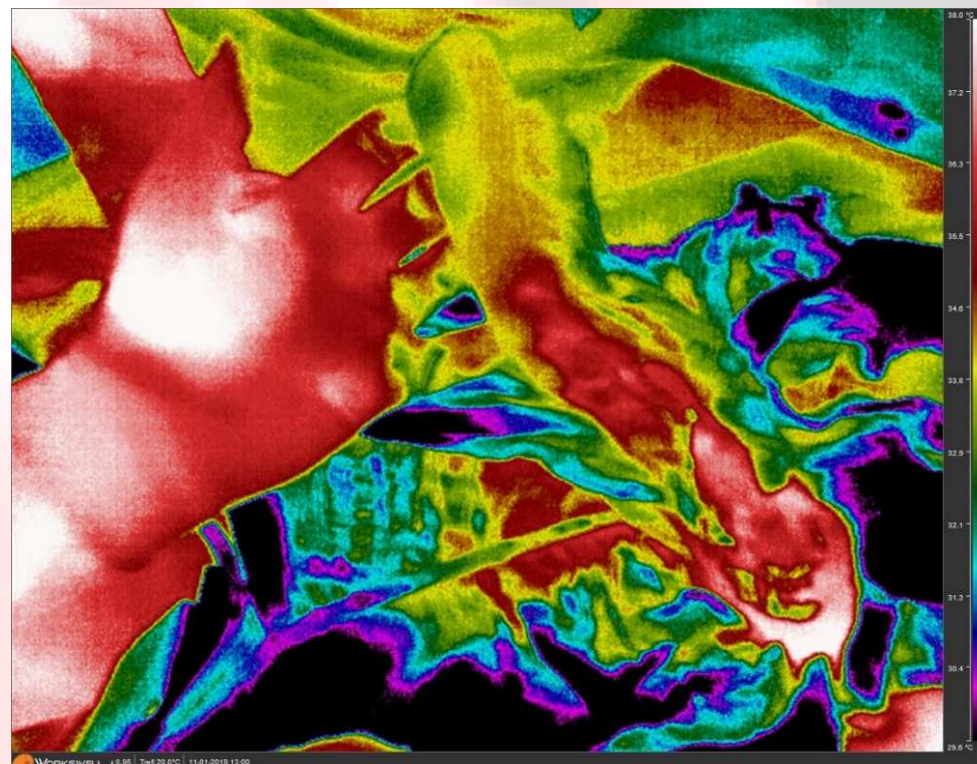
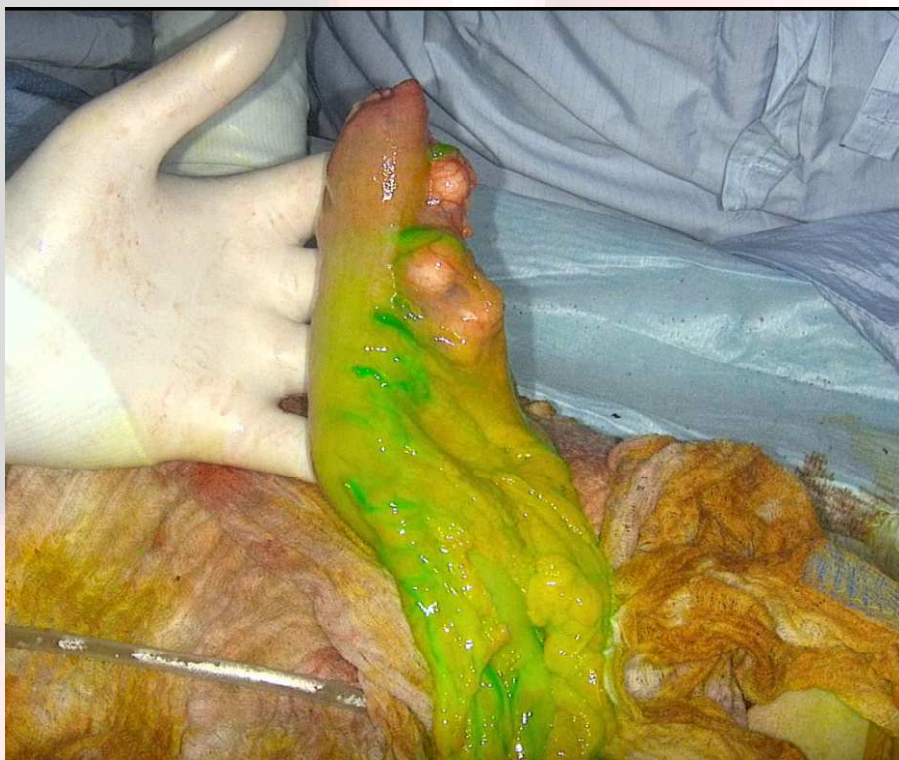


# Chladový test prokrvení při anastomóze tlustého střeva - animace





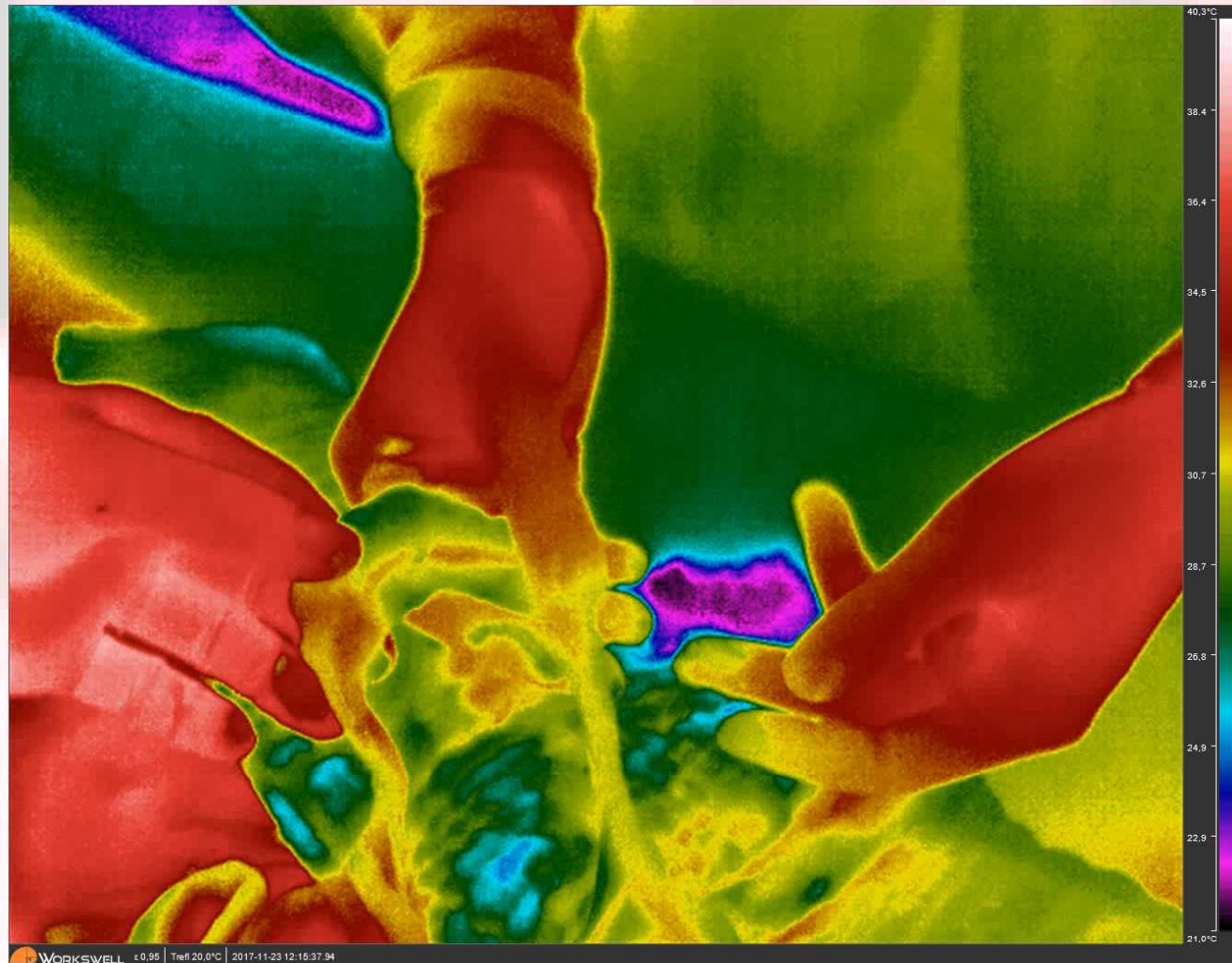
# Porovnání zobrazení prokrvení metodou barvení indocyaninovou zelení a pomocí termokamery – resekce jícnu







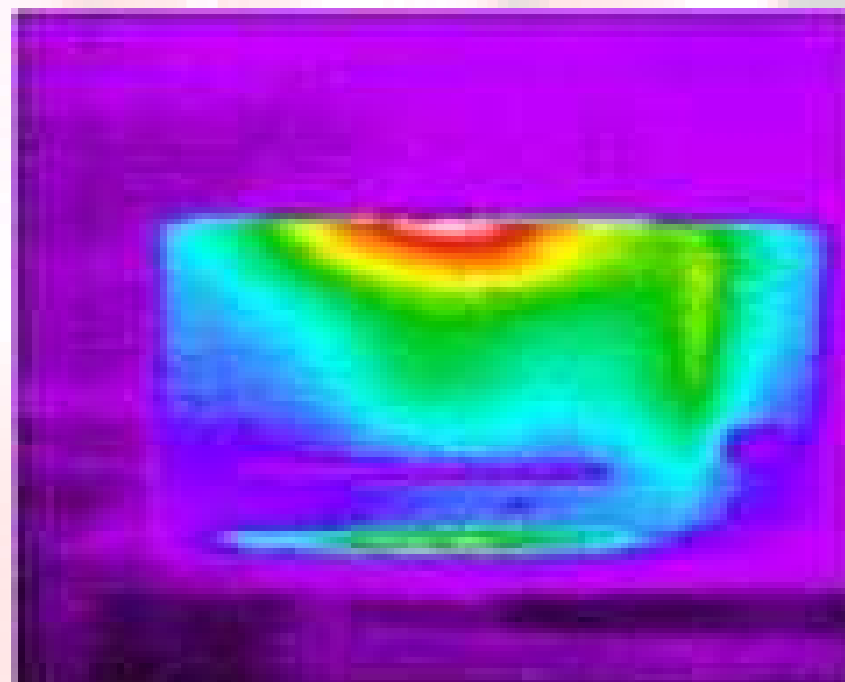
# Sledování teploty při kauterizaci - animace





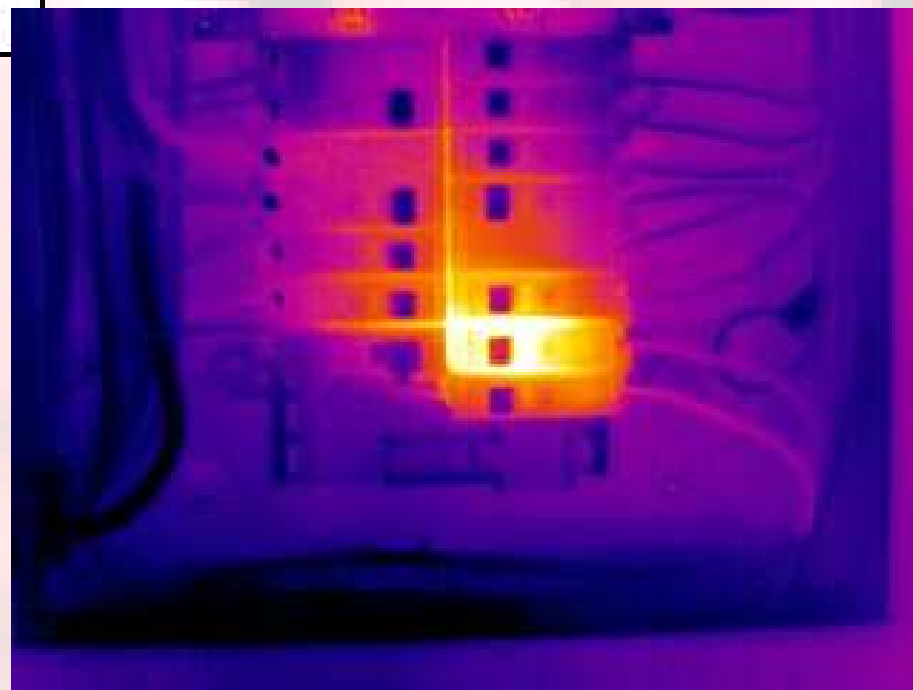
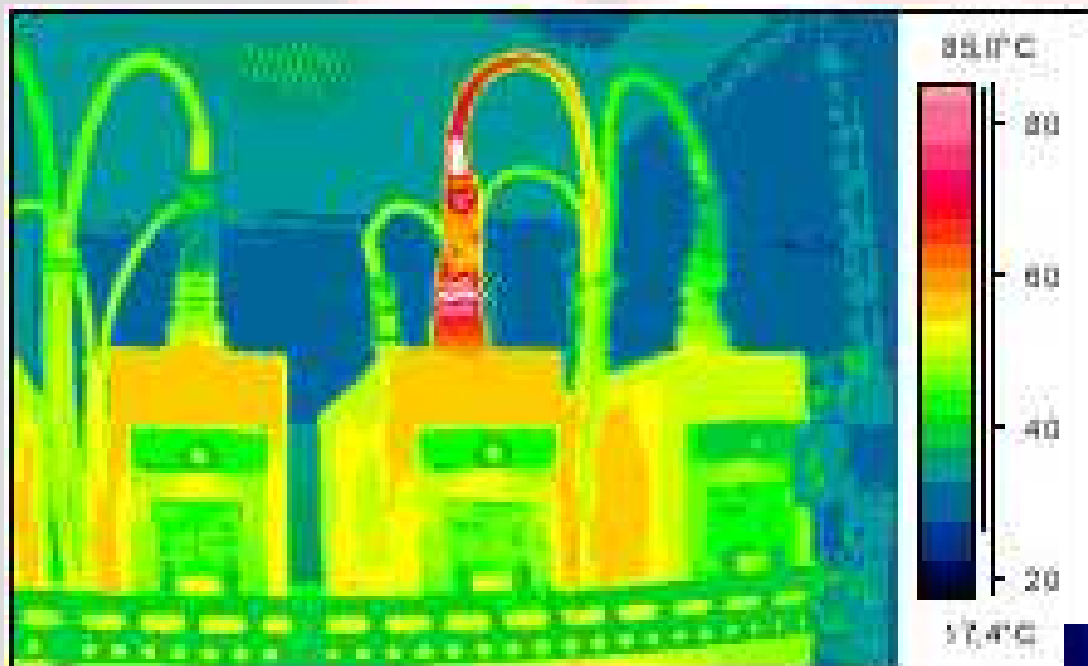
# **Použití IR kamer v oblasti bezpečnosti**

# Pec propouštějící teplo – kontrola tepelných zařízení



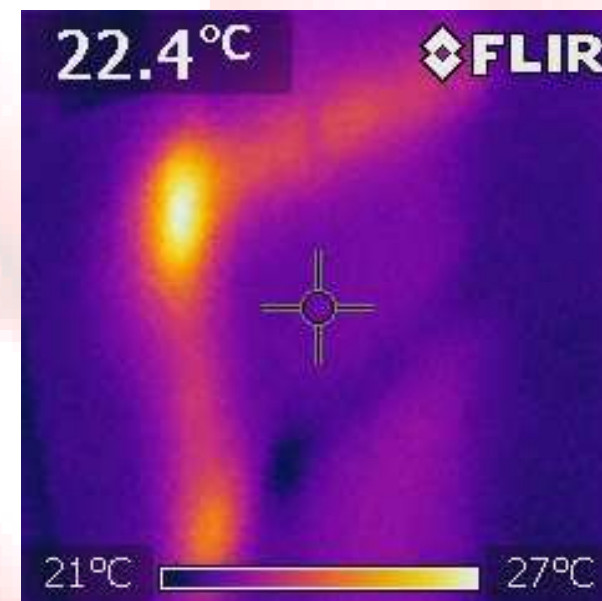
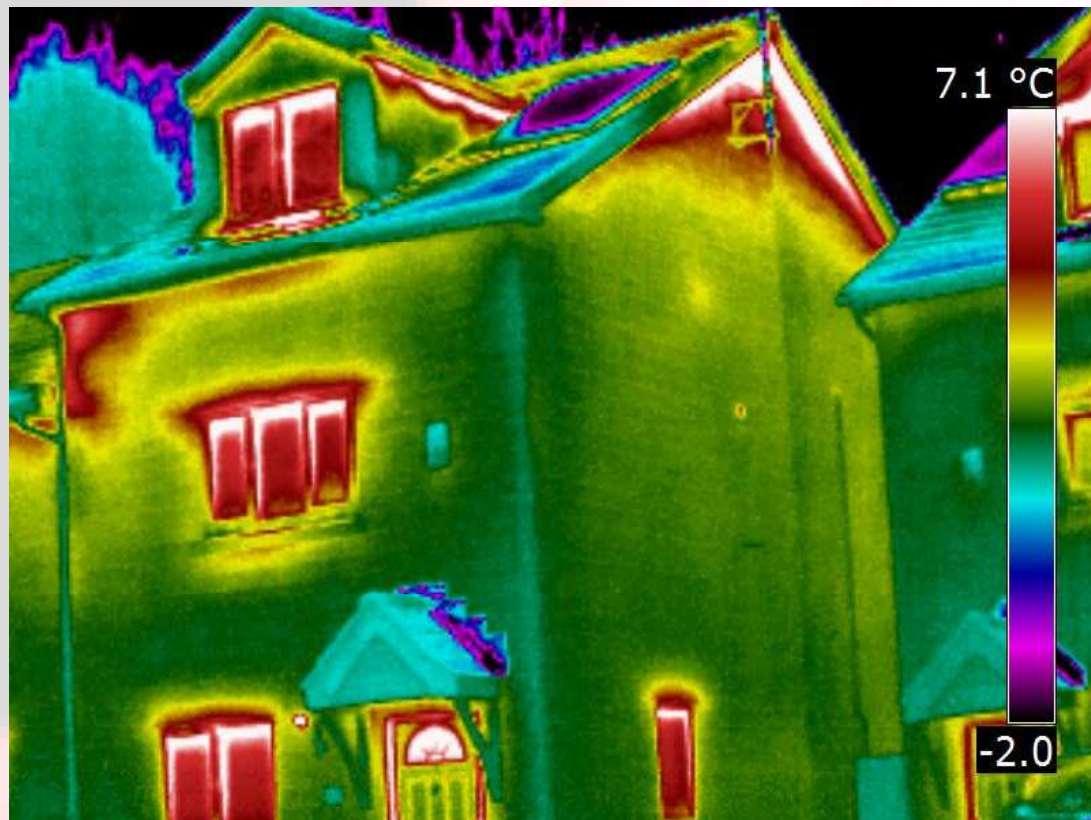


# Přehřátý kabel a další prvky v rozvodné skříni



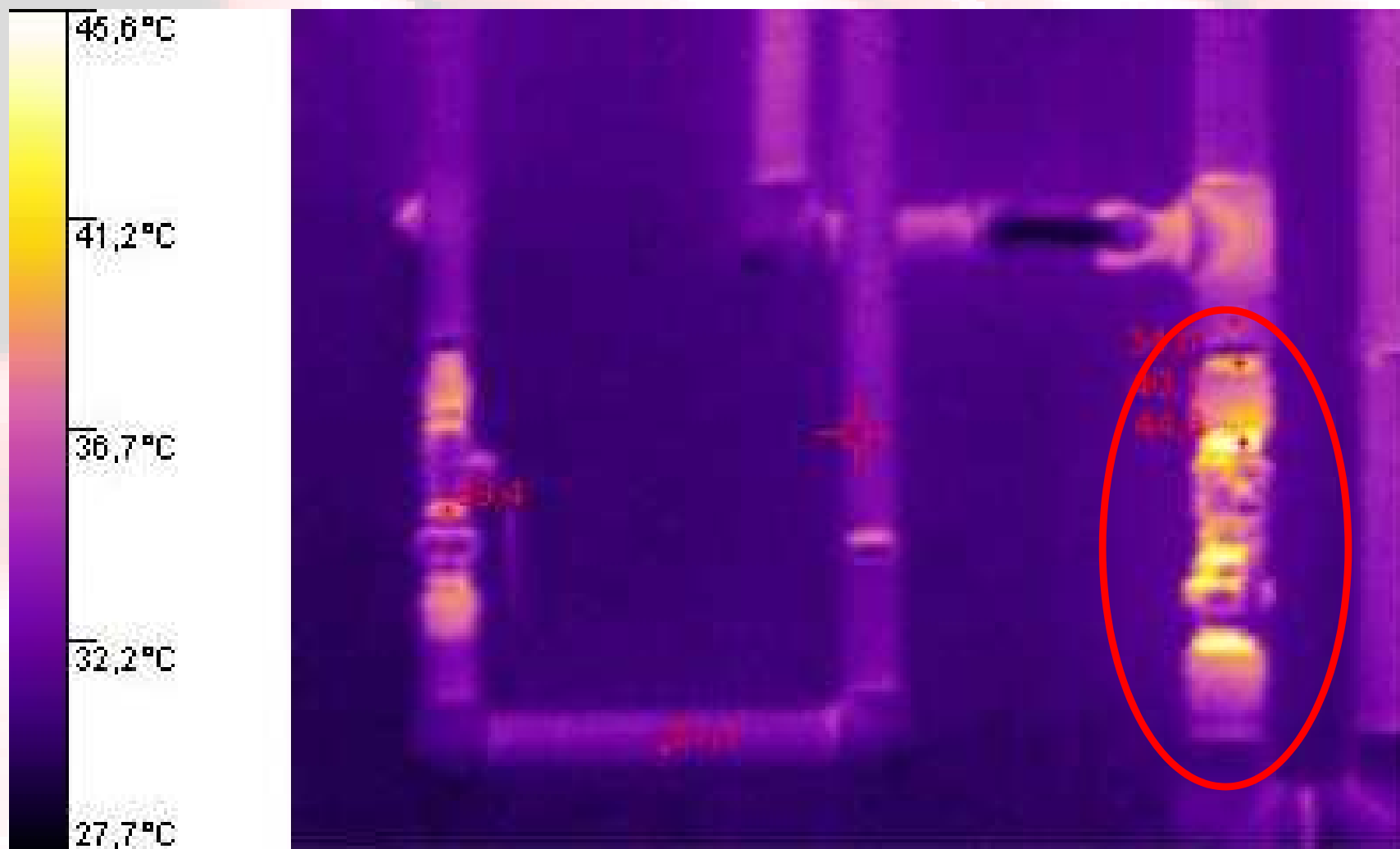


# Termografie ve stavebnictví



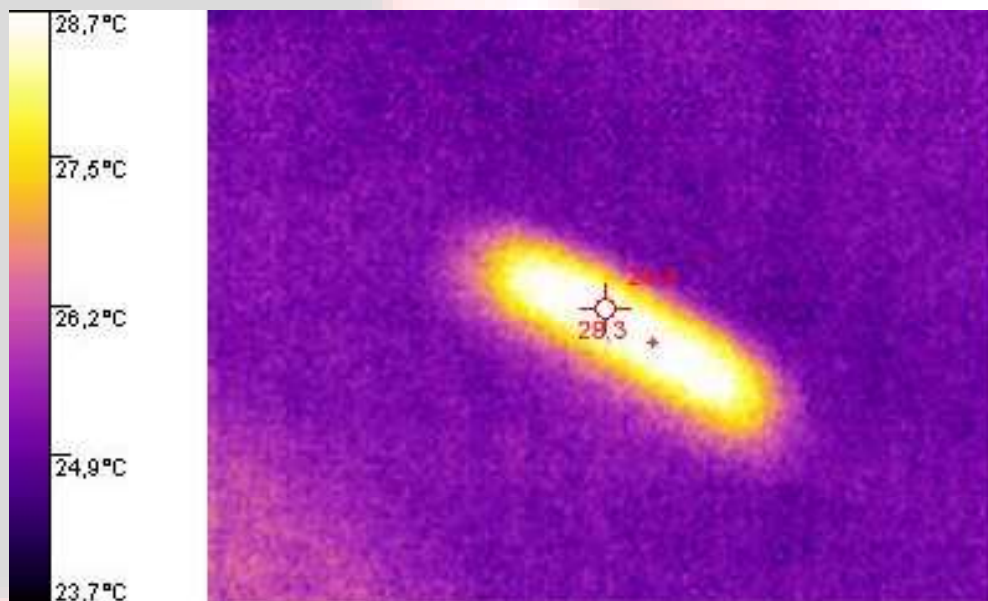
Vyhledání rozvodů vodovodního potrubí ve zdi

# Nízká kvalita izolace teplovodního potrubí v oblasti spojů (Fluke)



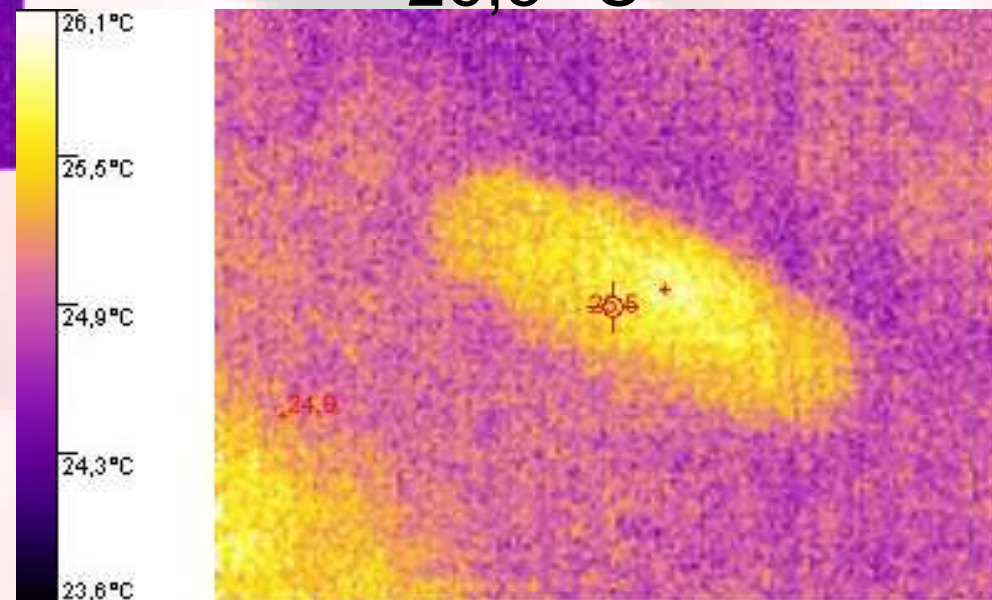


# Ultrasonografická sonda (Fluke)

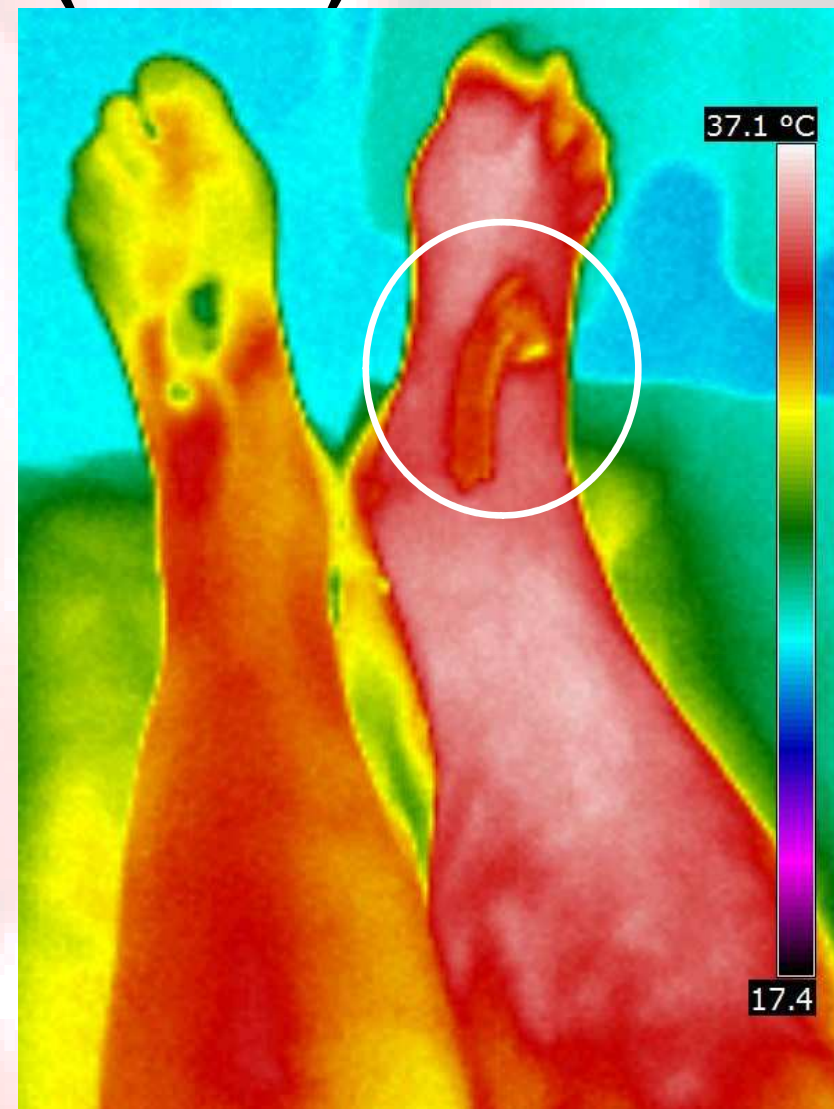
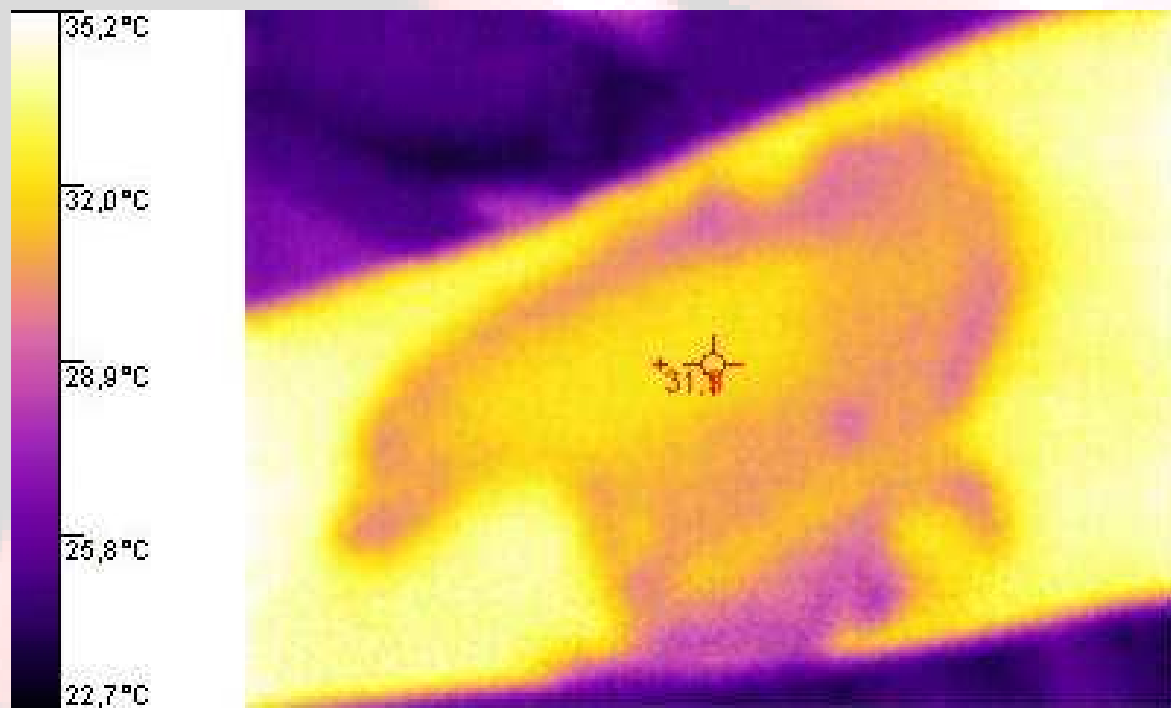


Sonda v provozu  
28,3 C

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:**