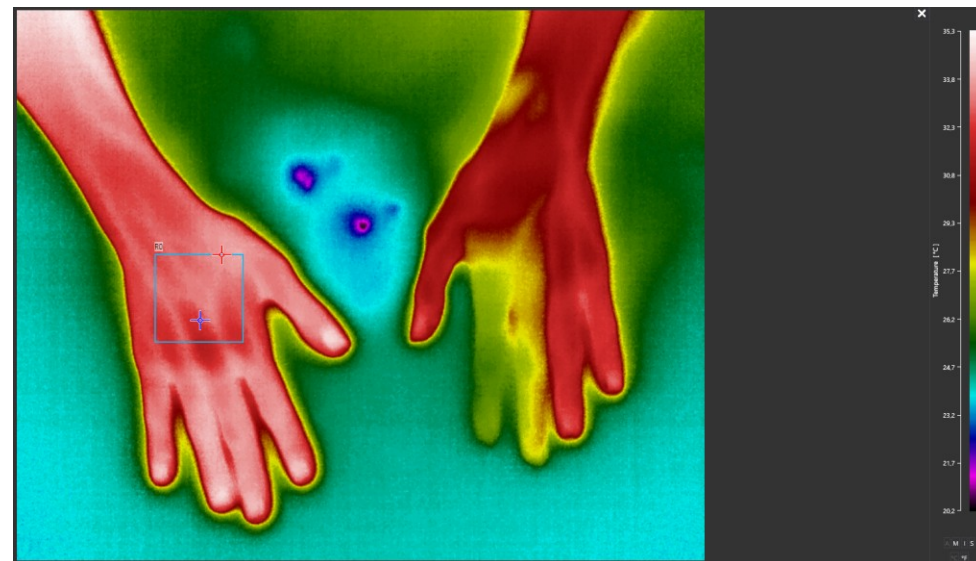
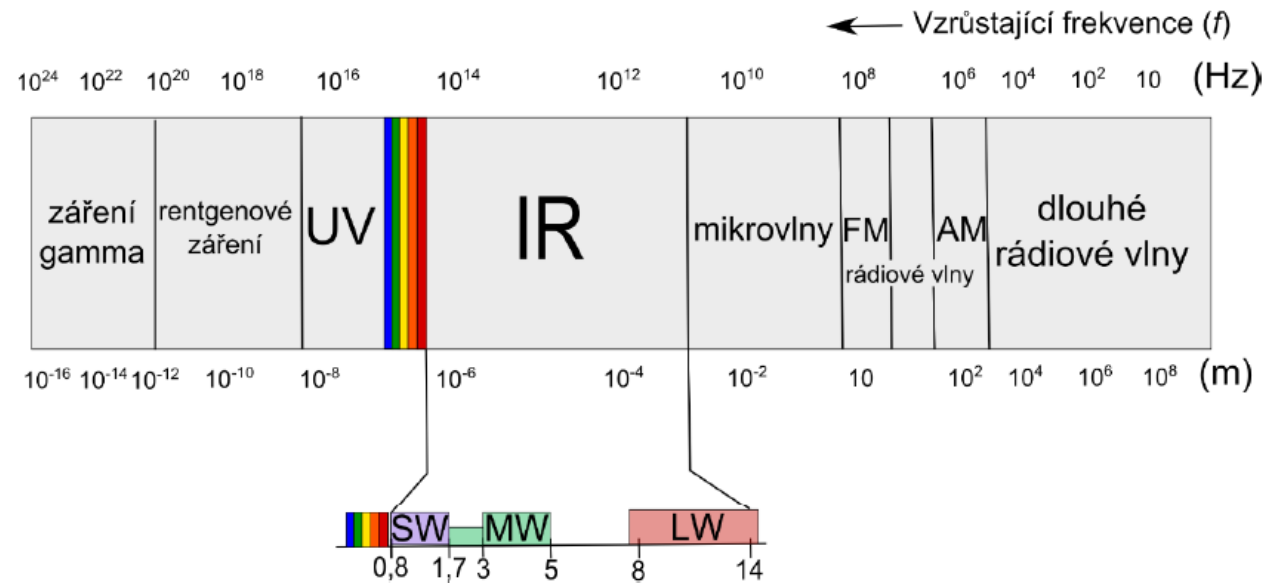


# Přednášky z lékařské biofyziky

## 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 fotografickou metodou
- Objeveno astronomem Herschelem v r. 1800
- Vlnové délky využívané v běžné 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

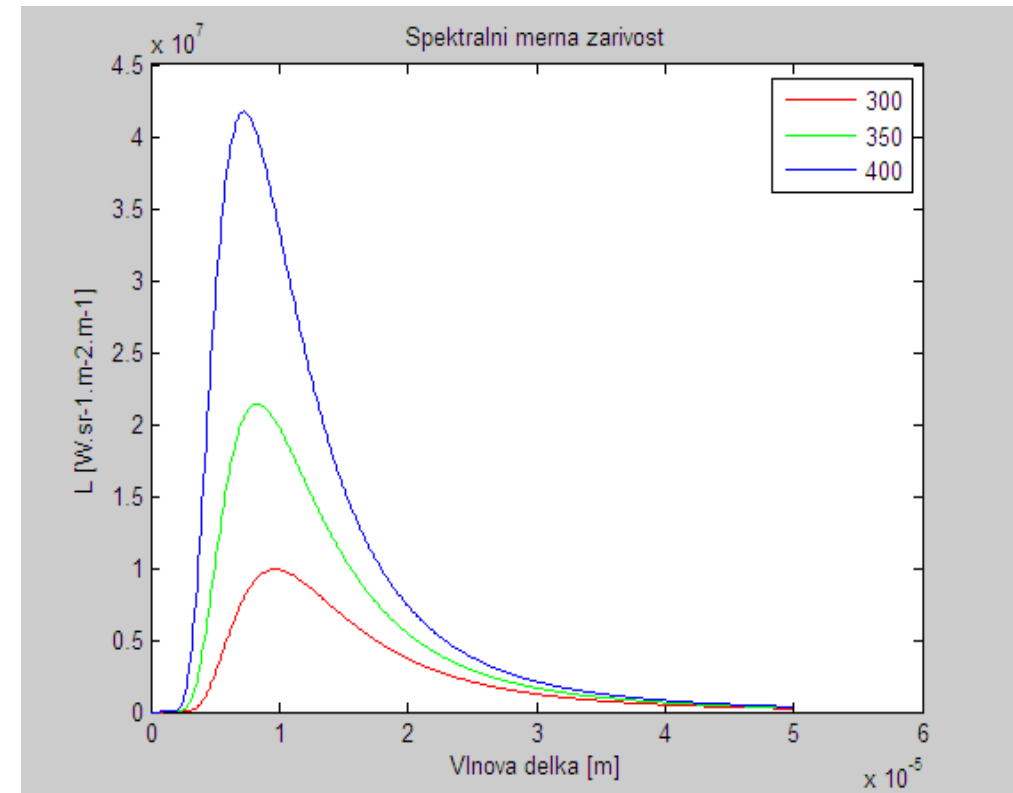
Případně:

- 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

$L$ ..... spektrální měrná zářivost  
 $h$ .....Planckova konstanta  $6,6256 \cdot 10^{-34}[\text{J} \cdot \text{s}]$   
 $k_B$ .....Boltzmannova konstanta  $1,3807 \cdot 10^{-23}[\text{J} \cdot \text{K}^{-1}]$   
 $c$ .....rychlost světla  $2,9979 \cdot 10^8[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$   
 $C_1$ .....1. vyzařovací konstanta  $1,191 \cdot 10^{-16}[\text{W} \cdot \text{m}^2]$   
 $C_2$ .....2. vyzařovací konstanta  $1,4388 \cdot 10^{-2}[\text{K} \cdot \text{m}]$



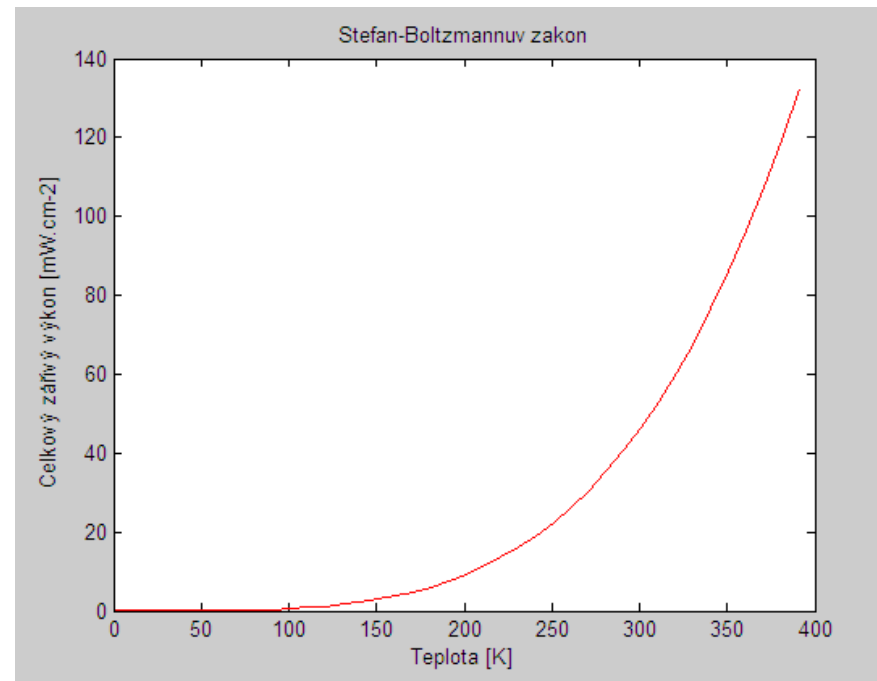
Nebudeme se učit zpaměti, ale budeme vědět, že existuje!

# Stefan-Boltzmanův zákon

Vyjadřuje intenzitu vyzařování - „výsledná intenzita vyzařování černého tělesa je úměrná čtvrté mocnině jeho absolutní teploty (T)“:

$$\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

Lze vyjádřit integrací přes celé spektrum vlnových délek Planckova vyzařovacího zákona



# Wienův posunovací zákon

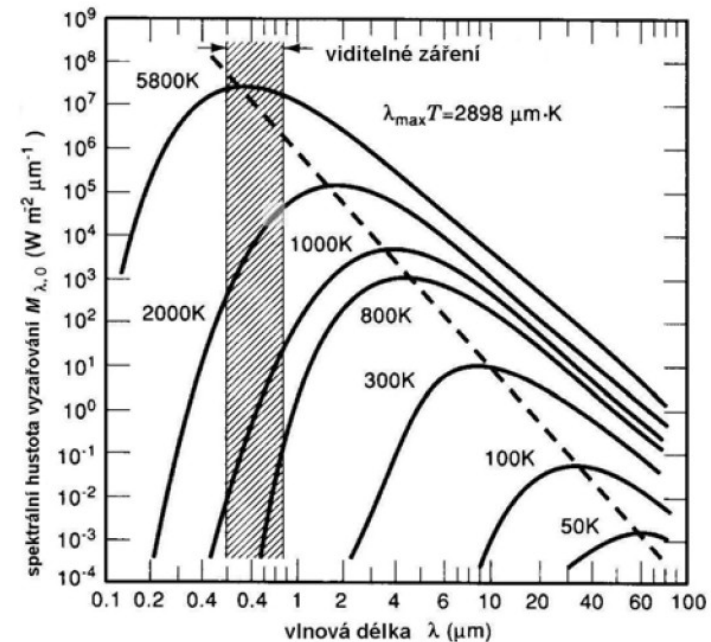
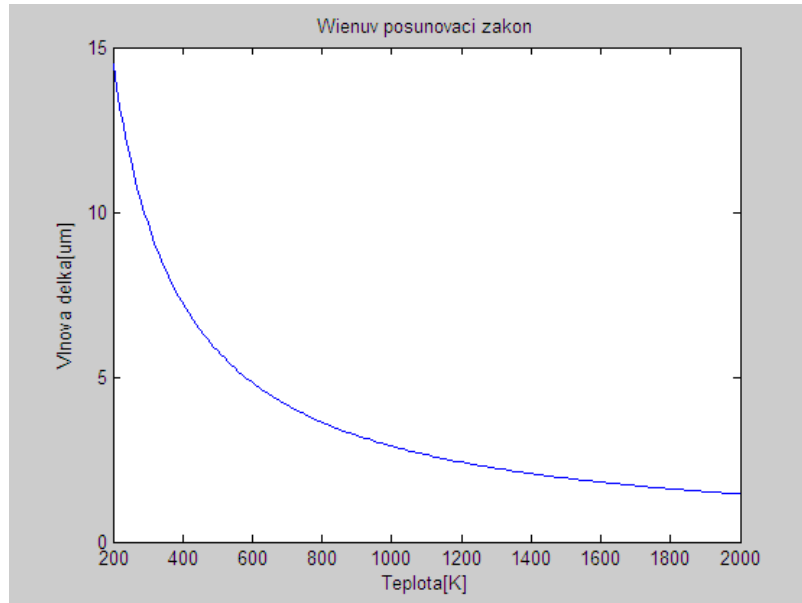
„Maximum spektrální intenzity vyzařování se mění v závislosti na teplotě, odpovídající vlnovou délku lze stanovit vyhledáním lokálního extrému odpovídající funkce“ – tedy, čím je těleso teplejší, tím více vyzařuje na kratších vlnových délkách

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad \text{Wienova konstanta}$$

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

*Např. člověk při teplotě 37°C (310 K) vyzařuje nejvíce emg záření o vlnové délce 9,35 μm, což odpovídá IR 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.*

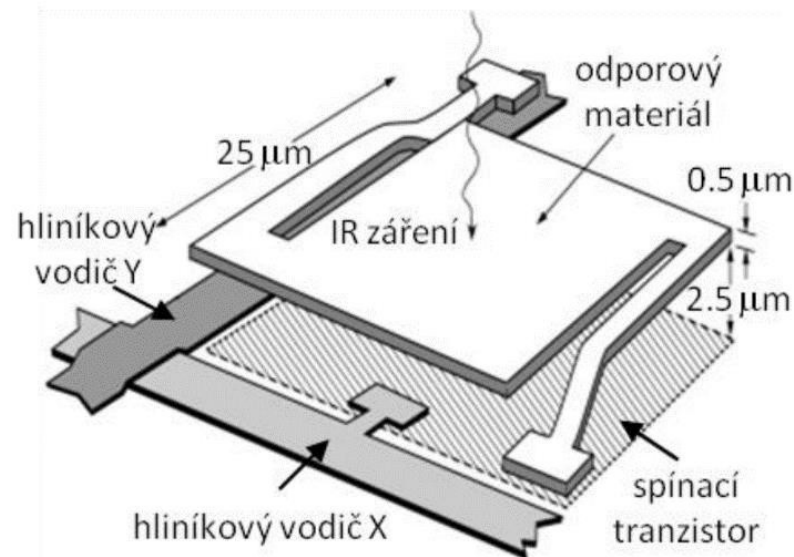
Lze vyjádřit derivací Planckova vyzařovacího zákona:



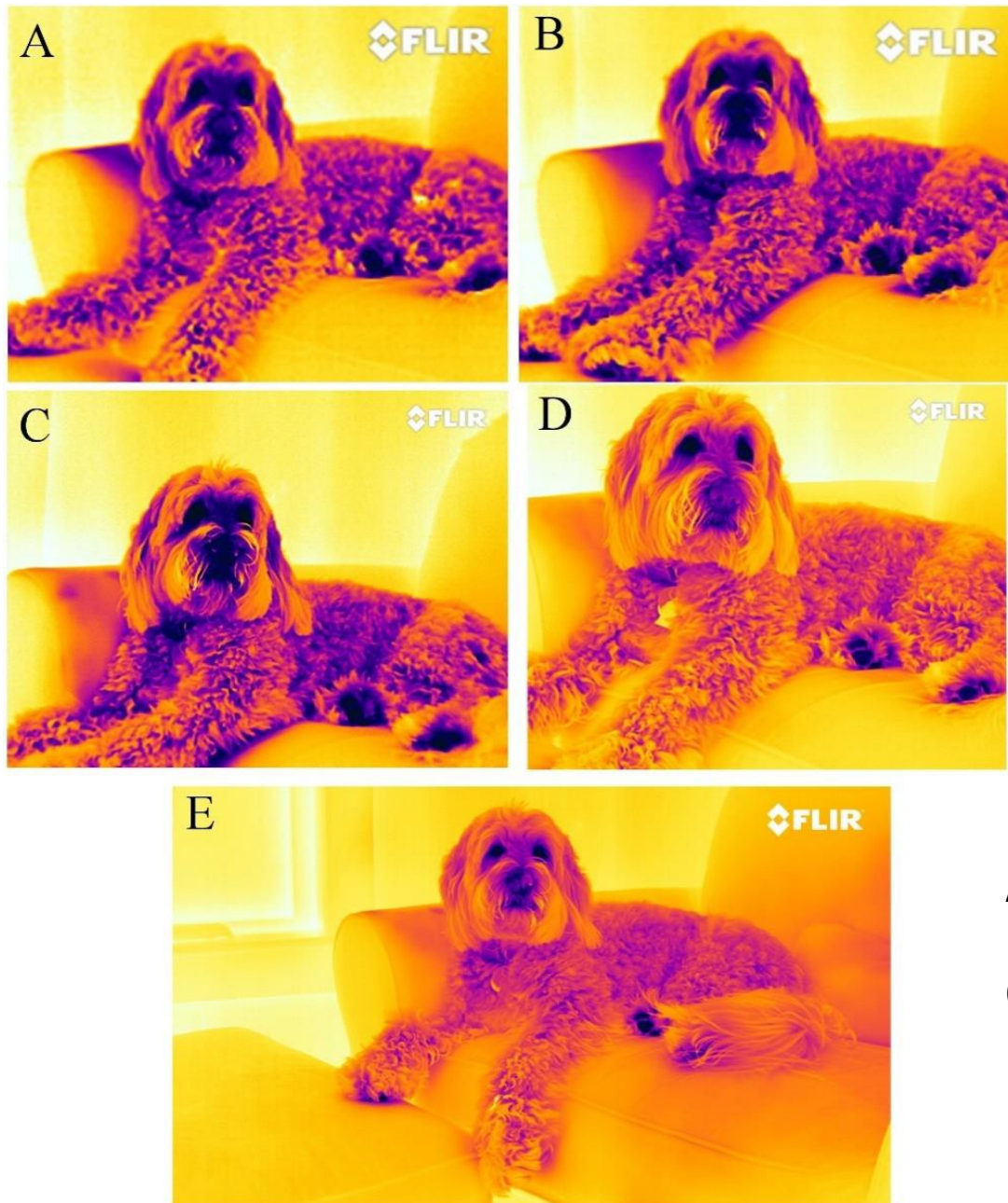
# Princip snímání obrazu

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

Parametry starší termovizní kamery, u modernějších se zvyšuje především maximální frekvence snímků a zmenšují rozměry.

### 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%

# MEDICAS

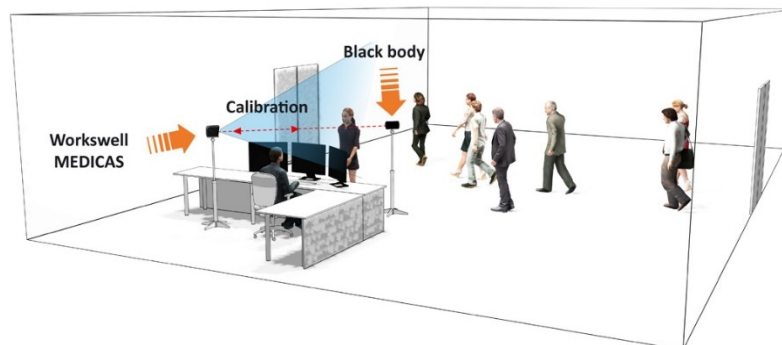
## SCREENING INFEKČNÍCH CHOROB TERMOKAMEROU

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**.

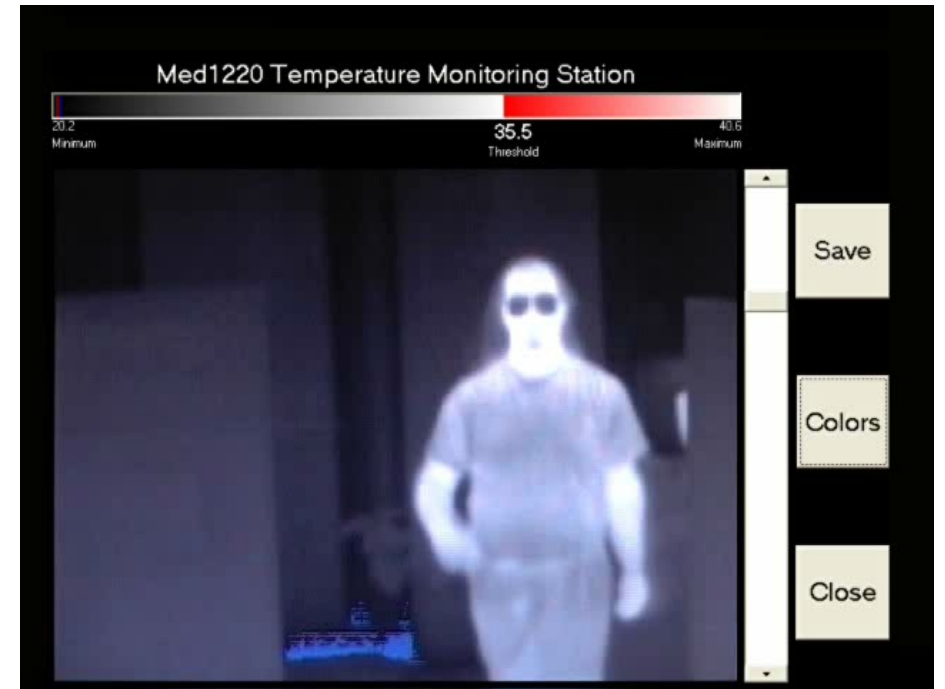
Systém disponuje **vysokou přesností měření teploty** (ta je zajištěna kontinuální recalibrací s pomocí **černého tělesa**, které je součástí systému) a také **teplotní citlivostí 30mK**. K termokameře stačí připojit monitor a klávesnici a vše je připravené k použití.

-  **DETEKCE HOREČKY**
-  **VYSOKÉ ROZLIŠENÍ**
-  **MĚŘENÍ TEPLoty**
-  **MOBILNÍ A PŘENOSNÉ**
-  **TERMÁLNÍ A RGB KAMERA**
-  **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, covid-19)



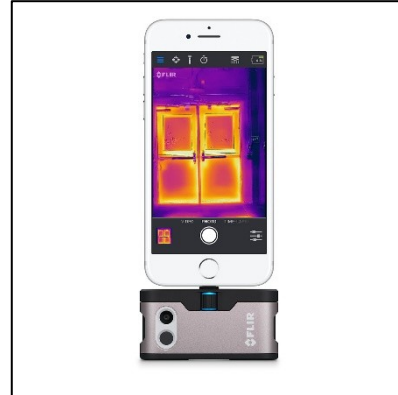
Tchaj-wan  
Letiště Taipei  
– 4/2019

# Vybavení pro měření IR na Biofyzikálním ústavu LF MU

Fluke Ti30



FLIR ONE gen 2



Seek Thermal



FLIR i7



FLIR B200



Workswell WIC-640



Kalibrační tzv. černé těleso



# 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

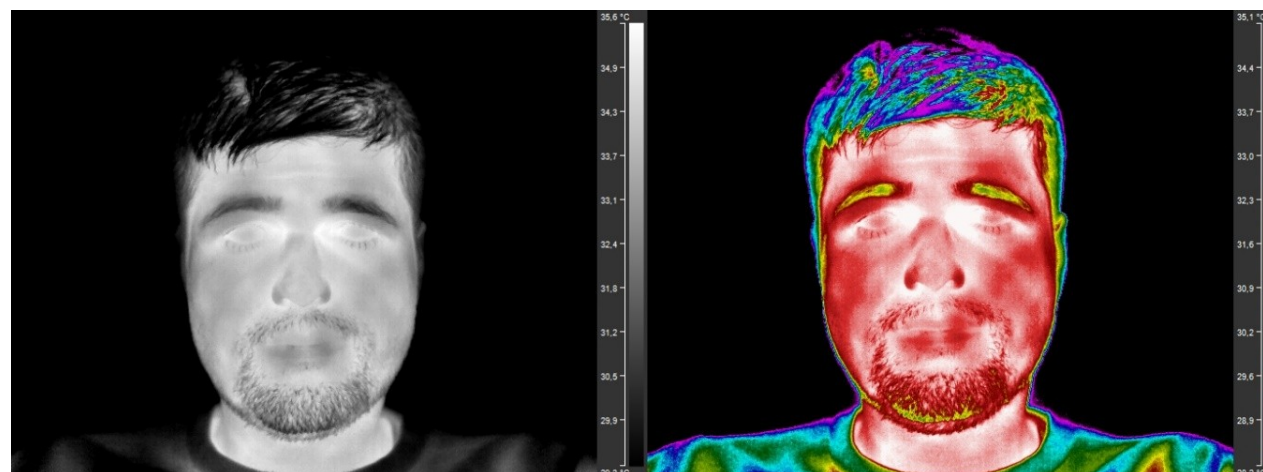
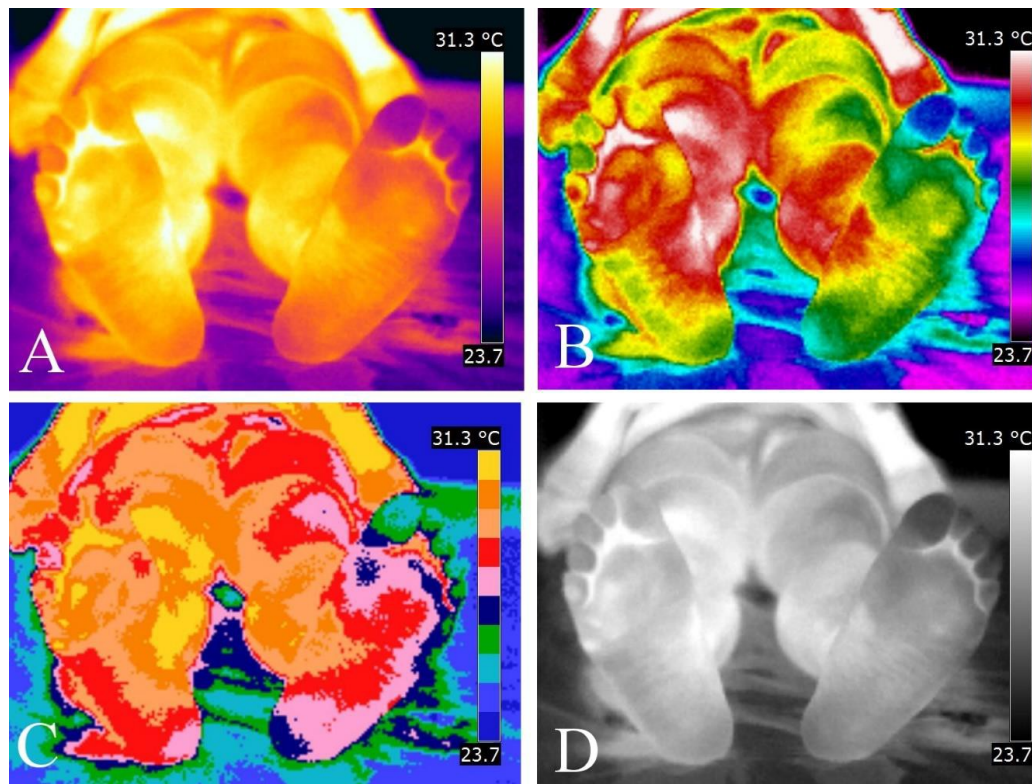
Aklimatizační doba kolem 20 min.

Vyšetřovaná část těla musí být v průběhu aklimatizace odhalena.

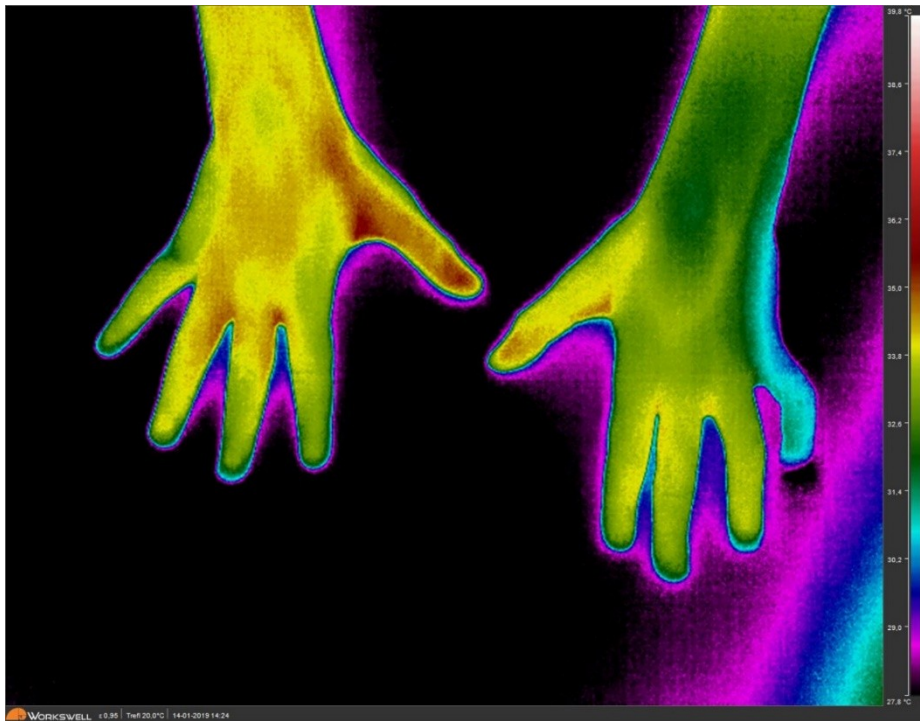
Před vyšetřením není dovoleno kouřit, pít alkoholické nápoje, cvičit nebo brát léky, které způsobují vasodilataci nebo vasokonstrikci.

# **Klinické termogramy**

# Různé palety pseudobarev



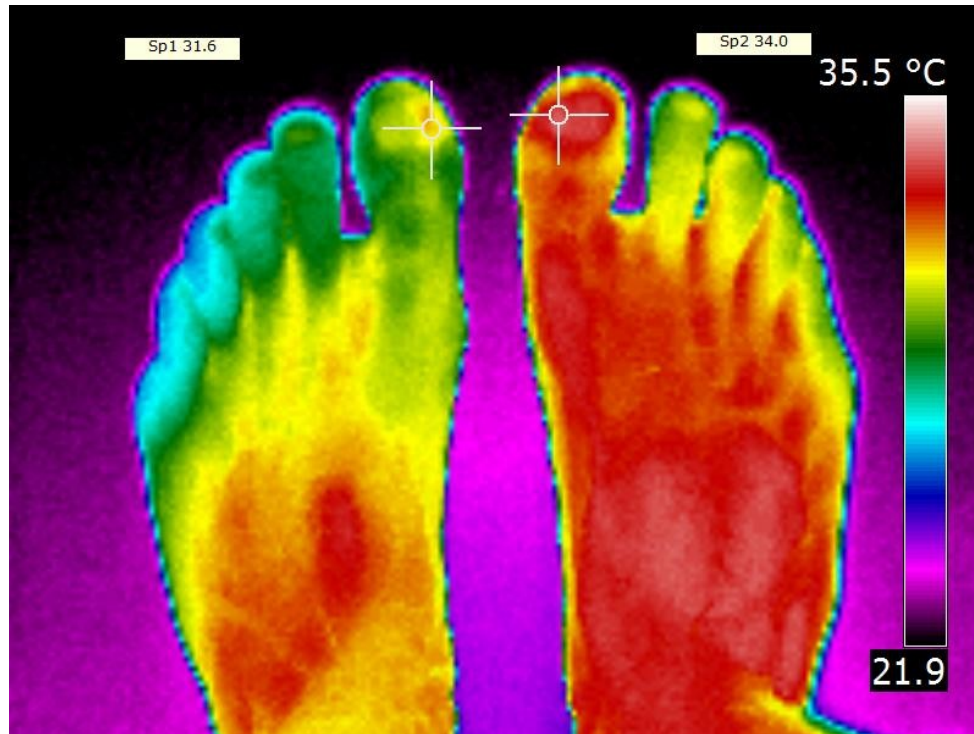




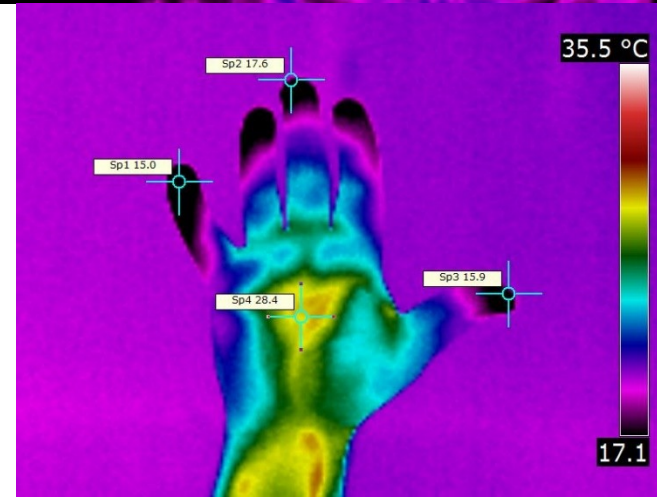
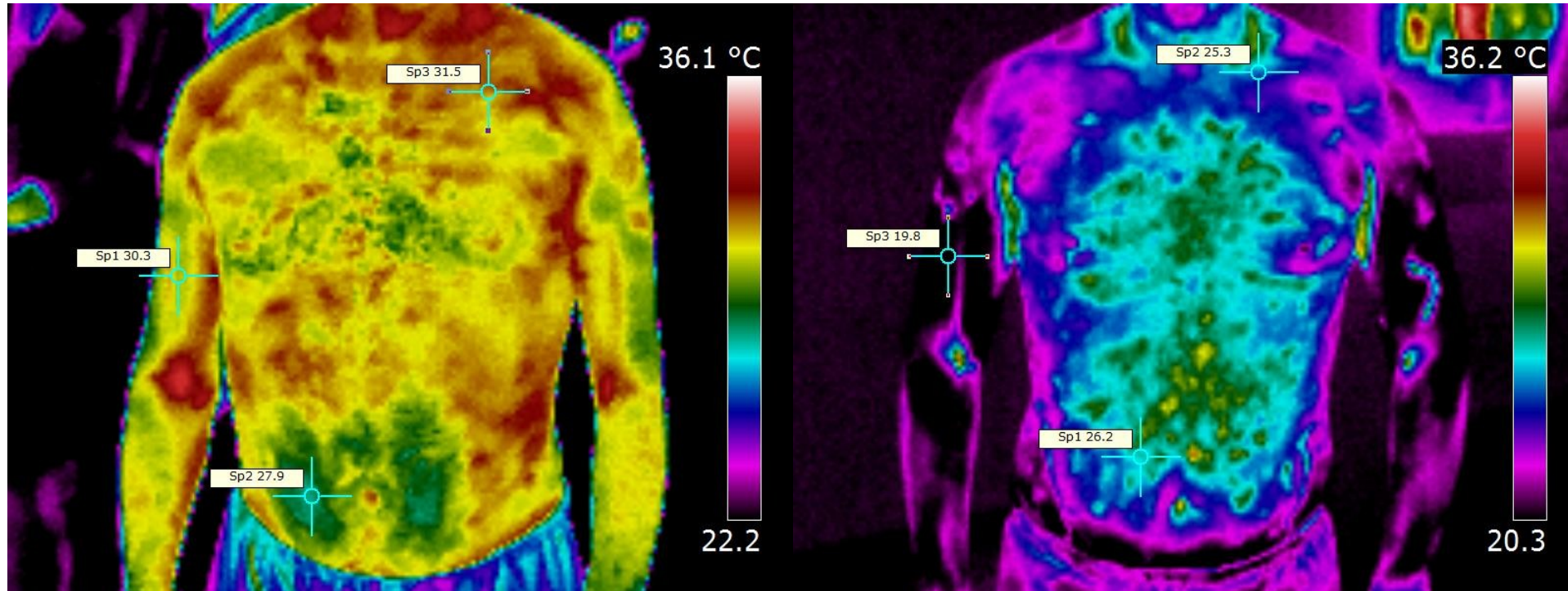
Paréza n. ulnaris – chladový test 3min (nahore)



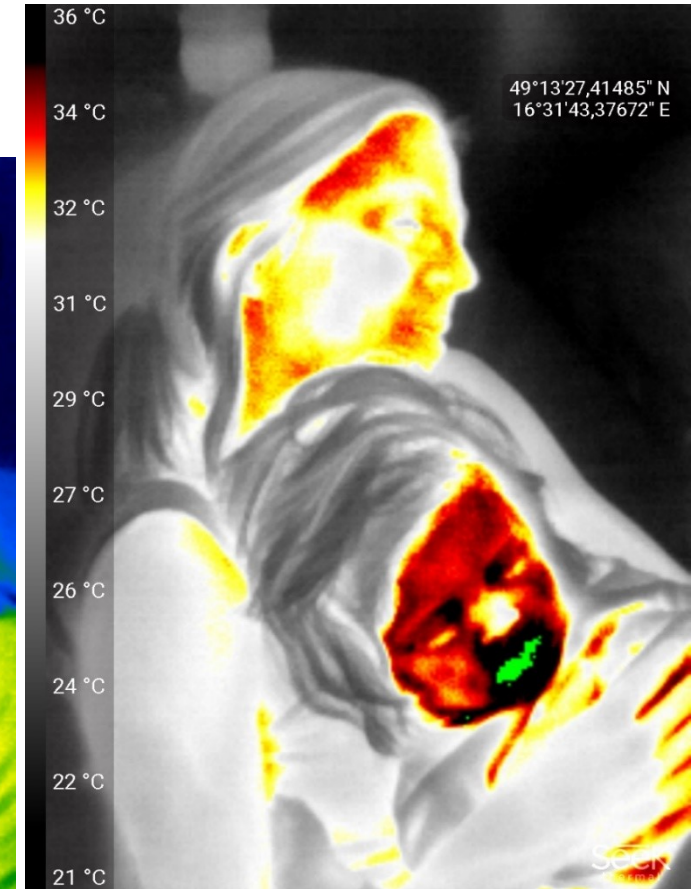
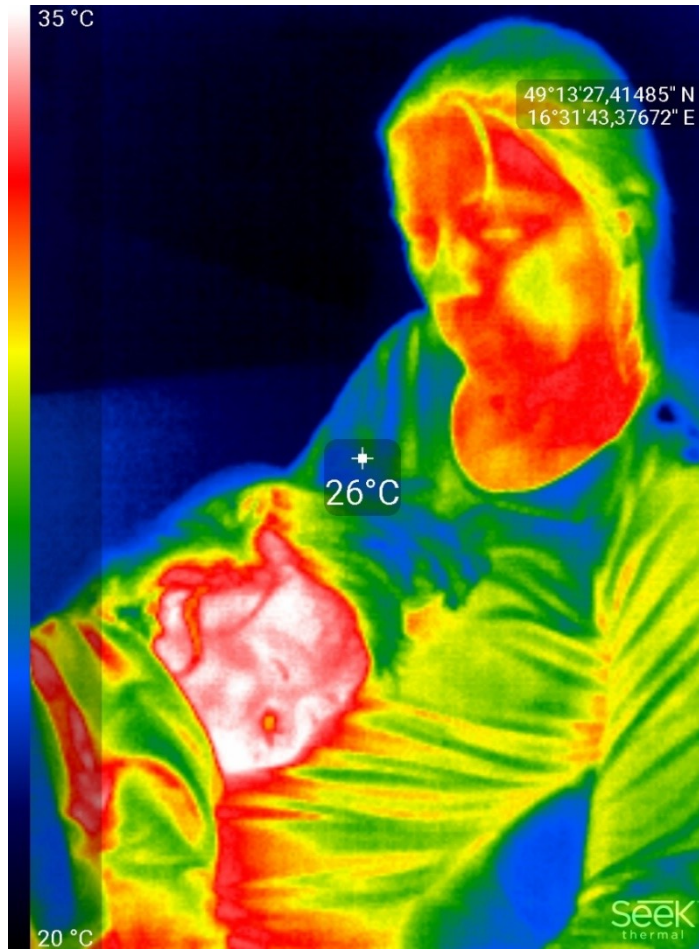
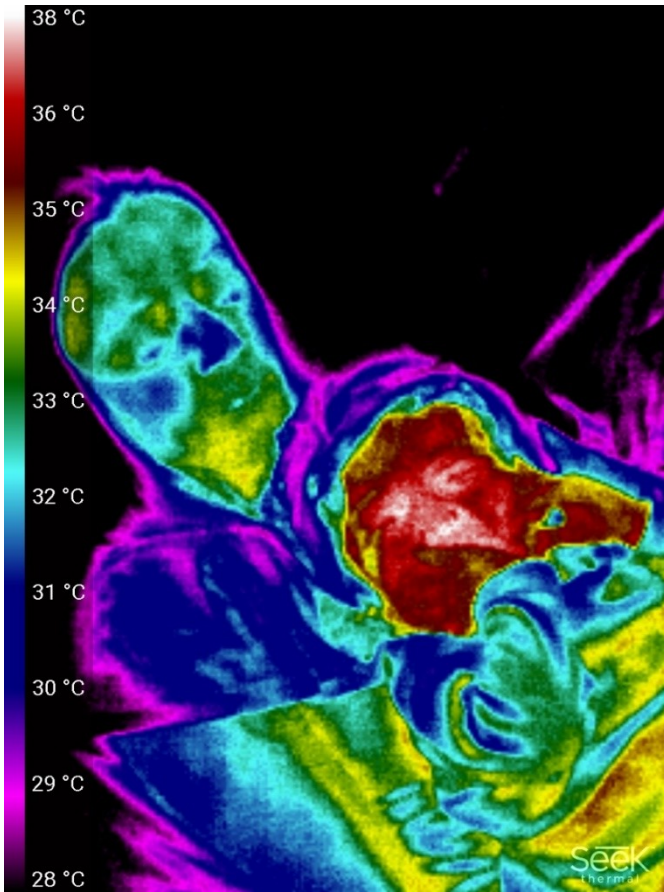
## Zánět v oblasti lůžka nehtu palce (Flir b200)



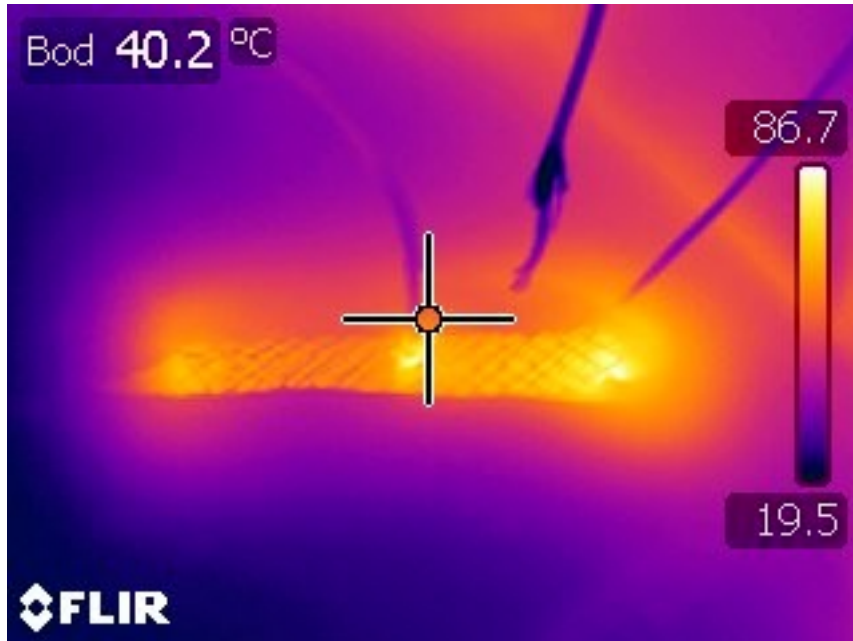
# Před vstupem a po výstupu z kryokomory



# Termogram horečky u dítěte

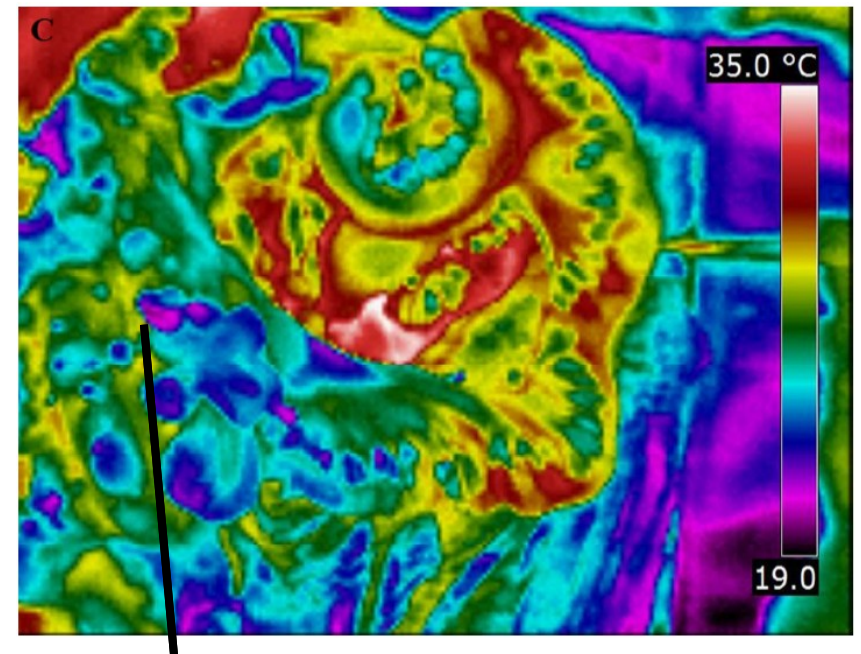


# Klinická termografie

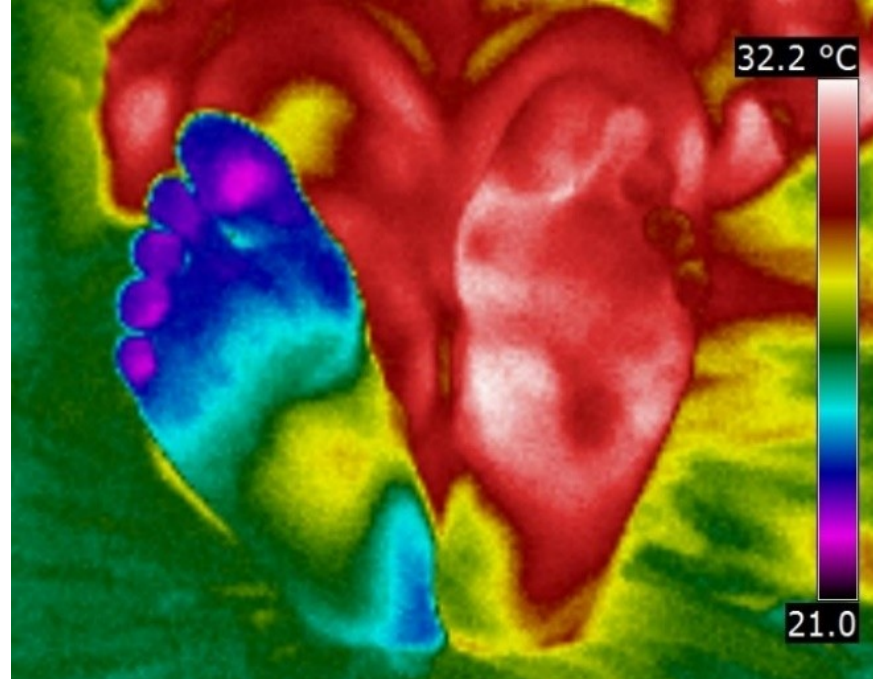


Ohřev stentu pomocí radioablačního zařízení (experiment)

Identifikace části střeva pro resekci (experiment)

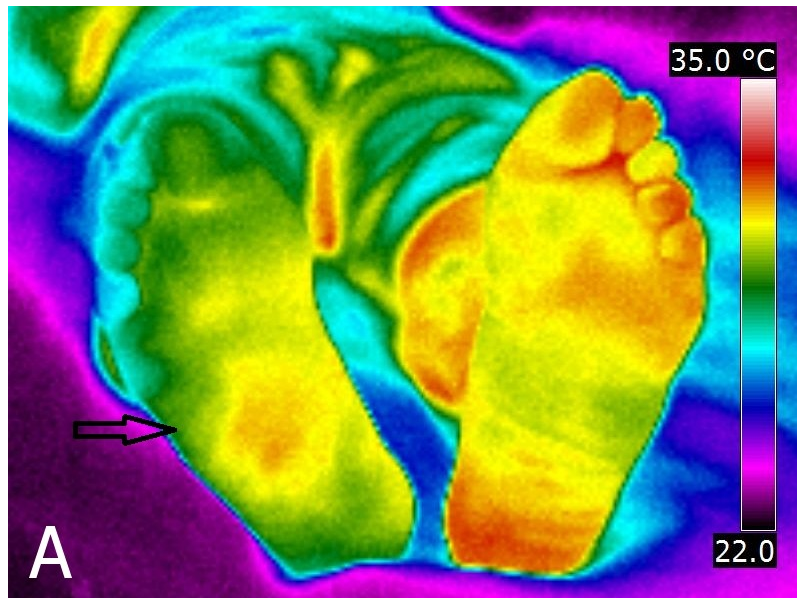


# Klinická termografie

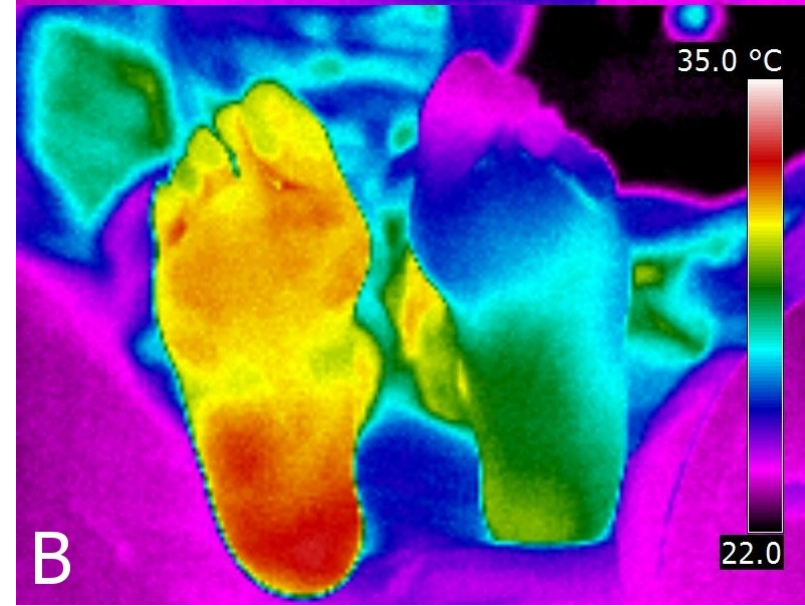
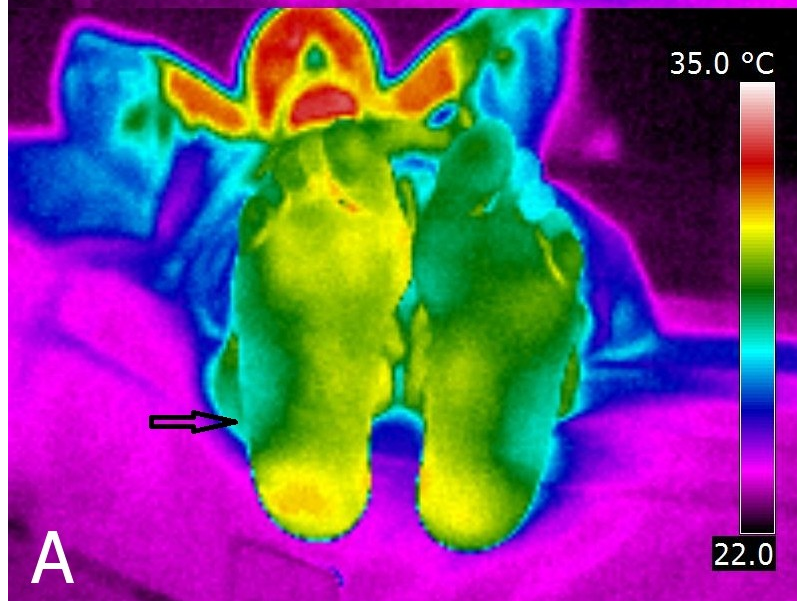
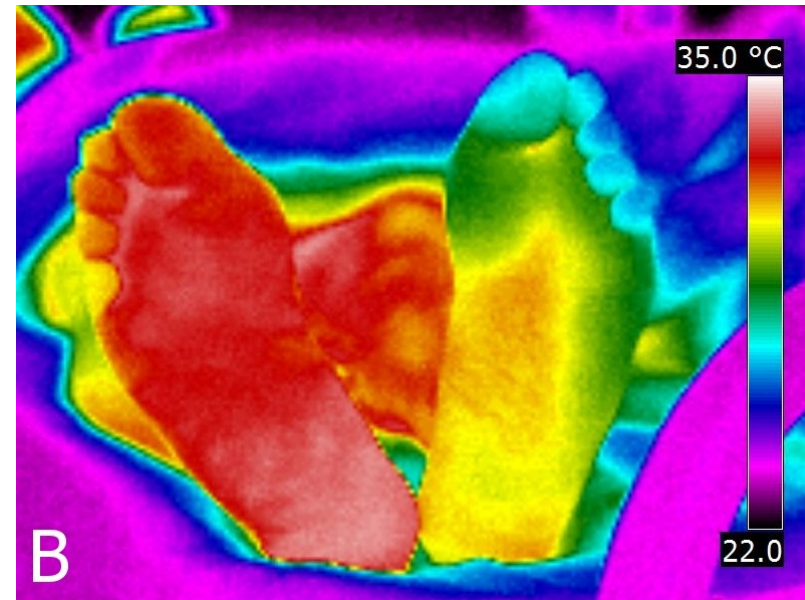


**Příklad akutního pacienta s ischemickou chorobou dolních končetin.**

# Efekt revaskularizace DK pomocí perkutánní transluminární angioplastiky (PTA)



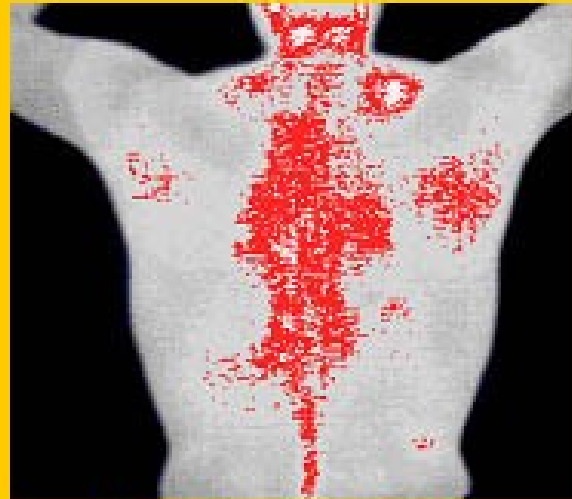
**PTA**



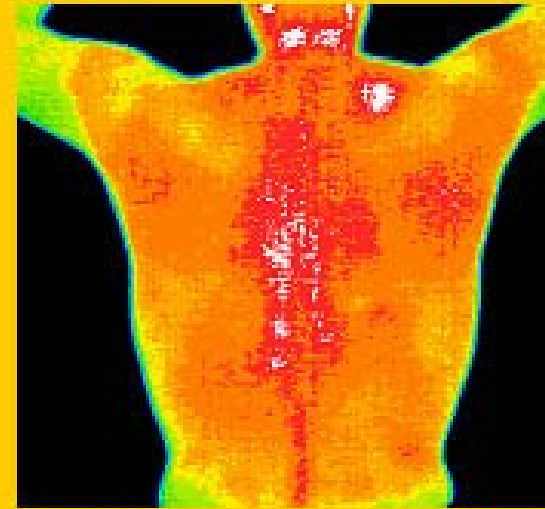
Myofascial Trigger Point Upper Right Levator Scapula

Diffuse Patterns Of Hyperthermia Over Central Spine

Cervical Inflammation



Isotherm Palette

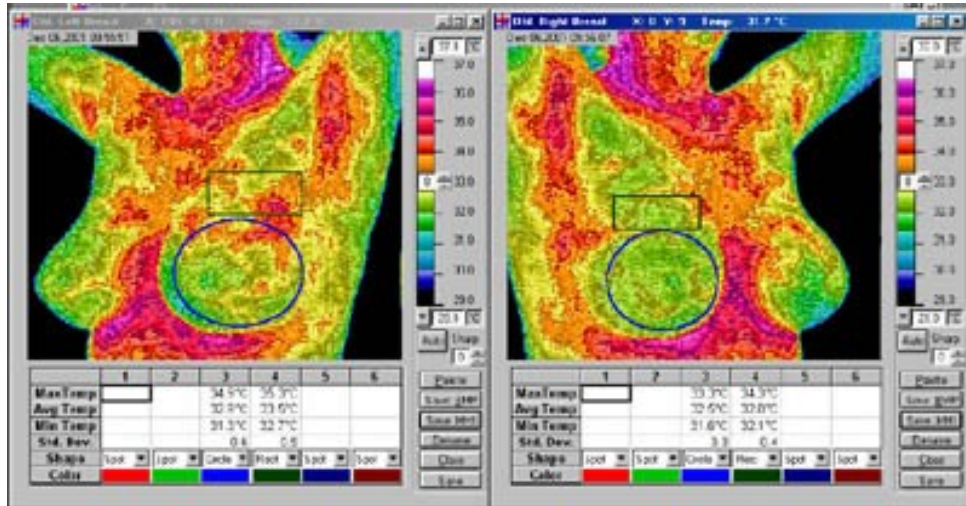


Standard Color Palette

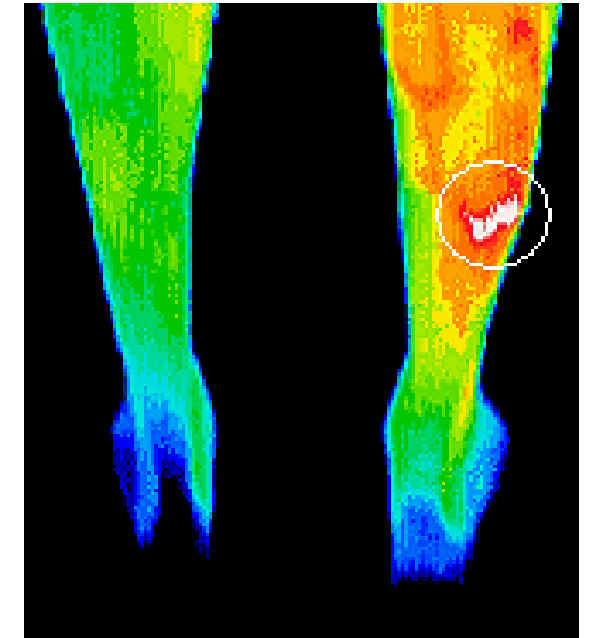
Pomocí termografie lze objektivizovat i některé neurologické nálezy.



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



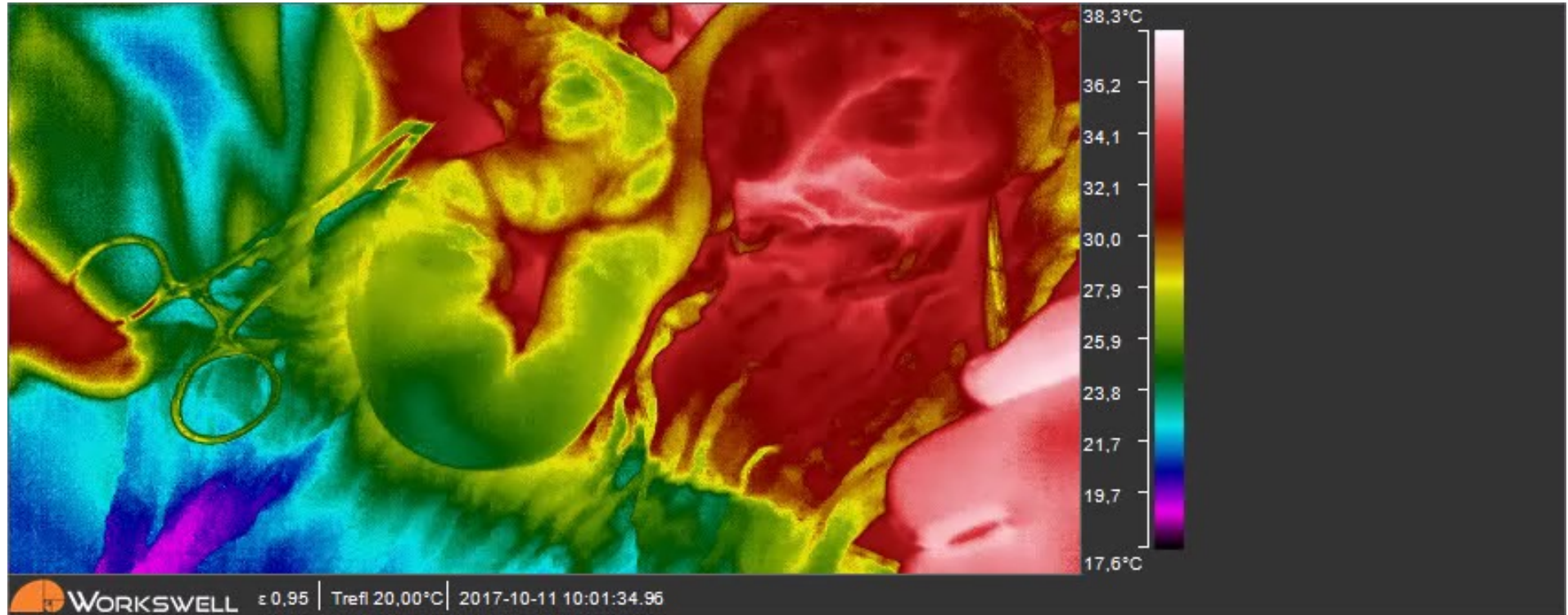
Starší  
screeningový  
termogram s  
asymetrií teplotní  
mapy prsů



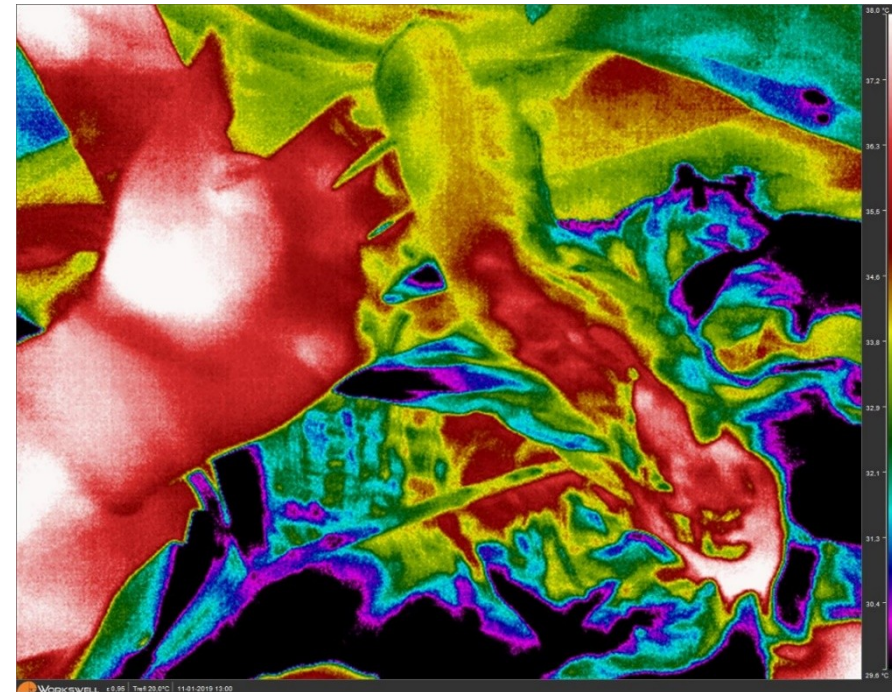
**Únavová zlomenina u fotbalisty.**  
Rtg vyšetření neukázalo žádnou abnormitu,  
termografie však dobře korelovala s  
pacientovými stížnostmi na bolest a poskytla  
zdůvodnění pro více invazivní scintigrafické  
vyšetření, které jasně ukázalo únavovou  
zlomeninu přesně v tom místě, kde byl  
termografický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

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

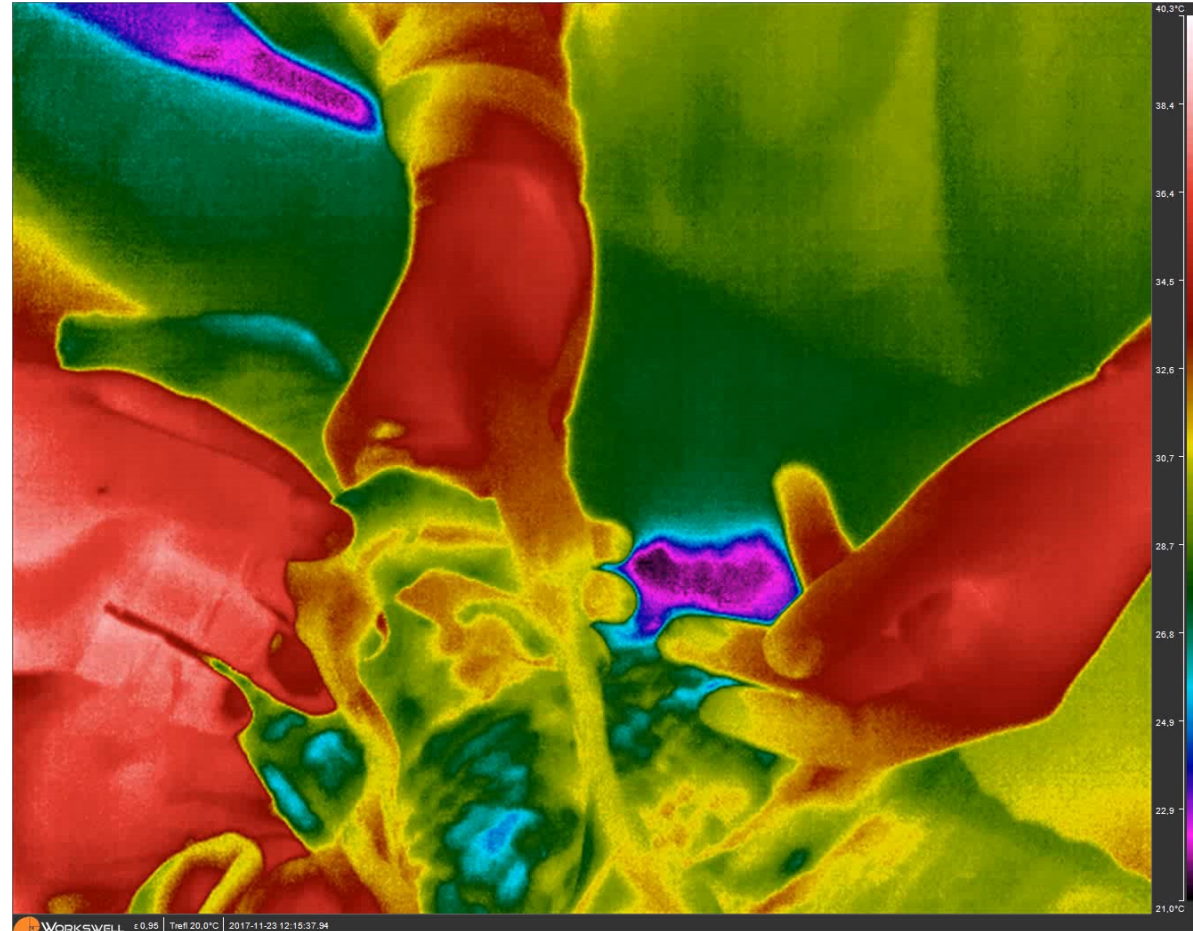
# Chladový test prokrvení při anastomóze tlustého střeva – animace - video



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

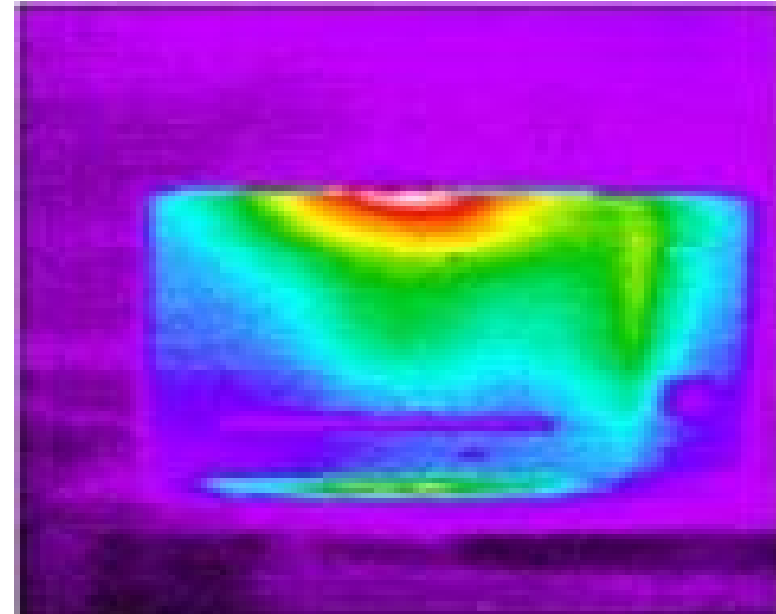


# Sledování teploty při kauterizaci - animace

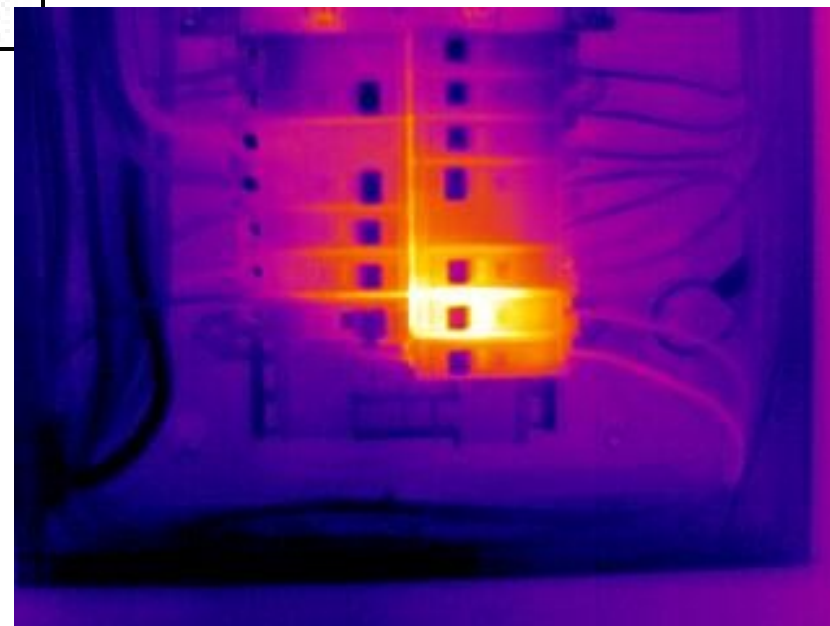
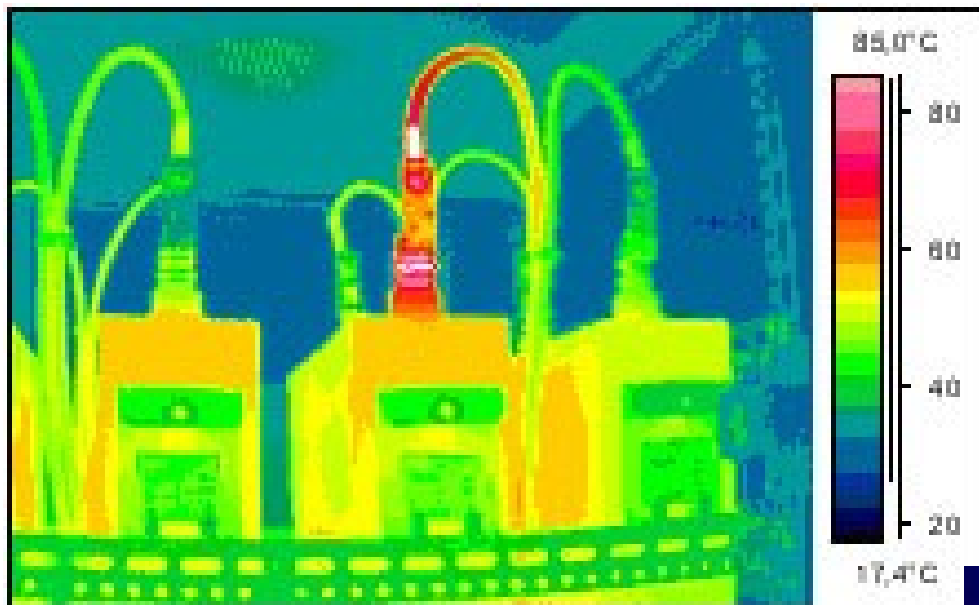


**Použití IR kamer v oblasti  
bezpečnosti aj.**

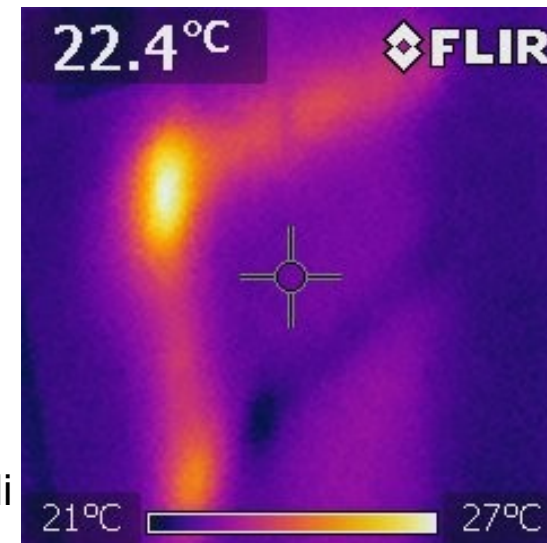
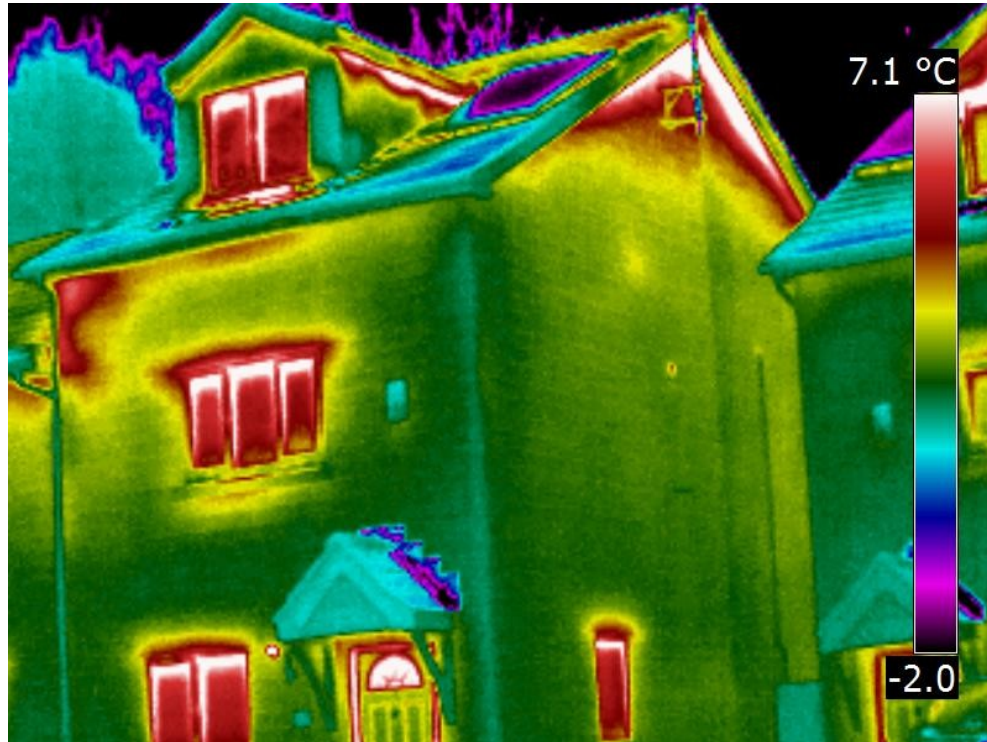
# Pec propouštějící teplo – kontrola tepelných zařízení



# Přehřátý kabel a další prvky v rozvodné skříni



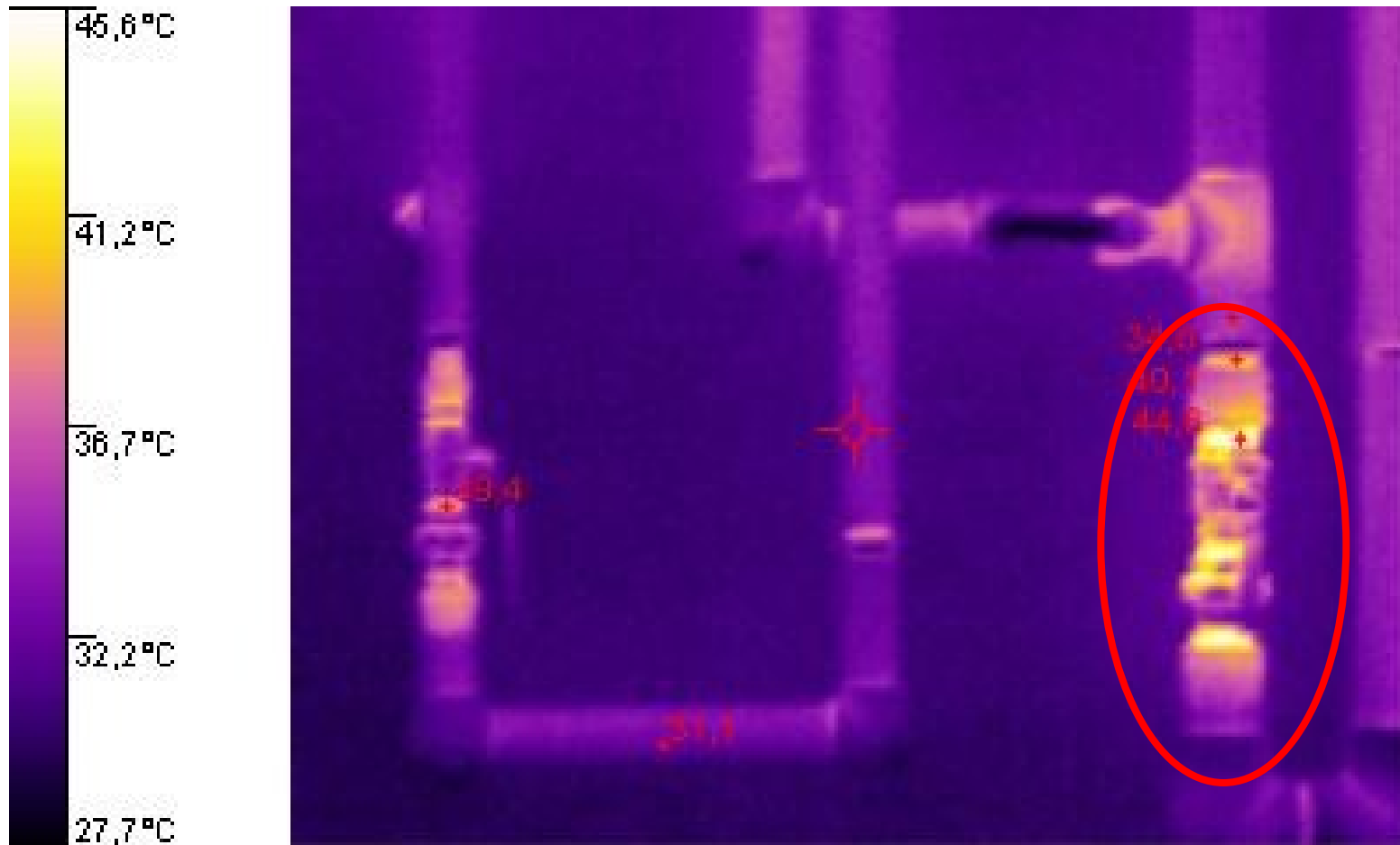
# Terragrafie ve stavebnictví



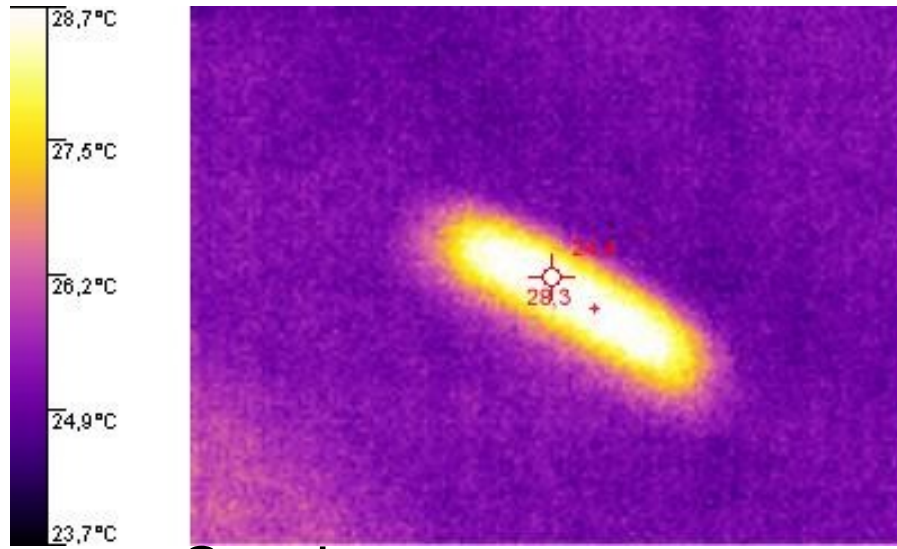
Vyhledání rozvodů  
vodovodního potrubí ve zdi



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

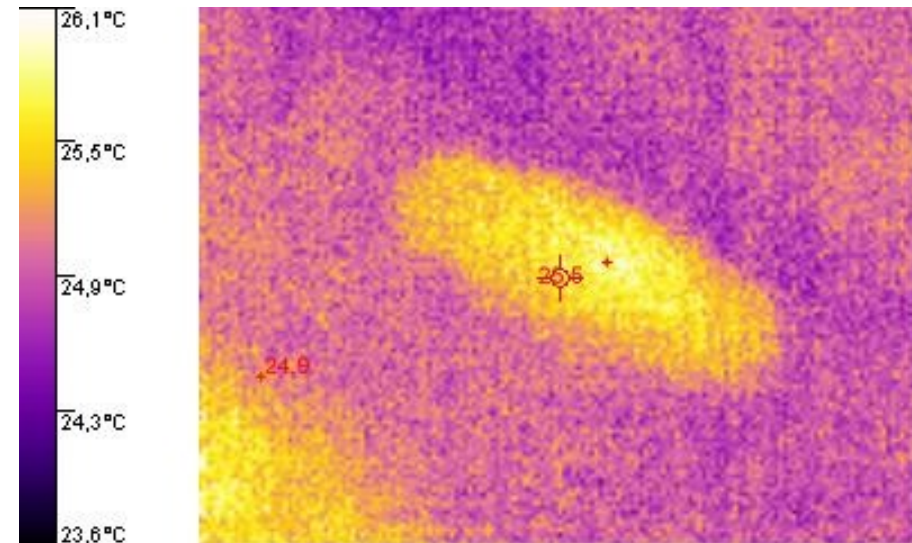


# Ultrasonografická sonda (Fluke)

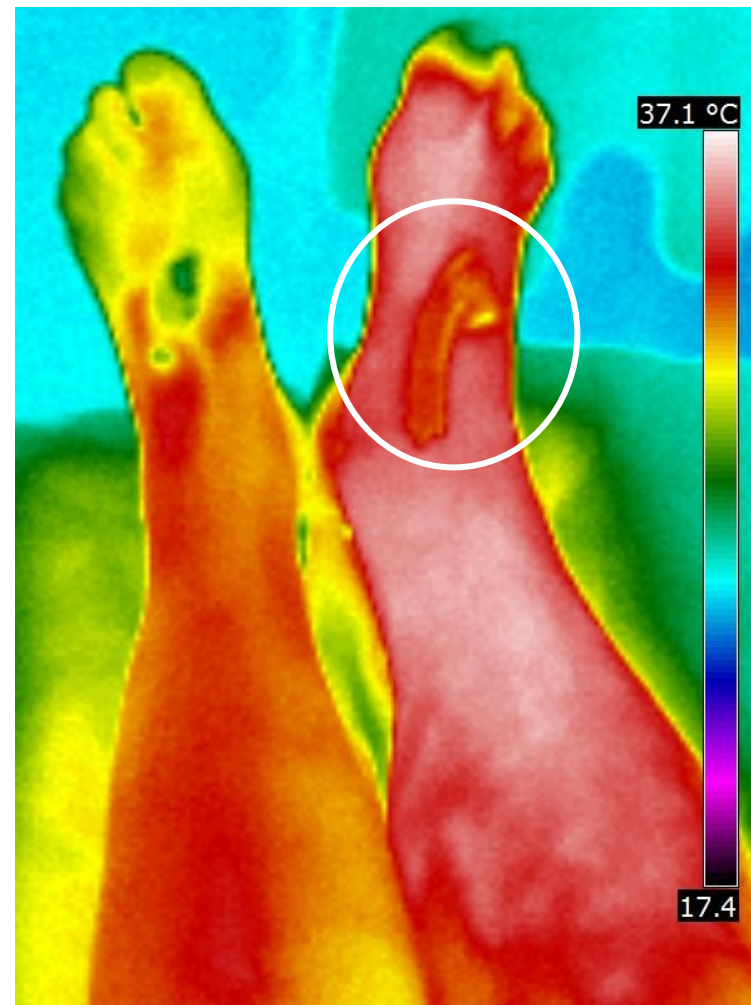
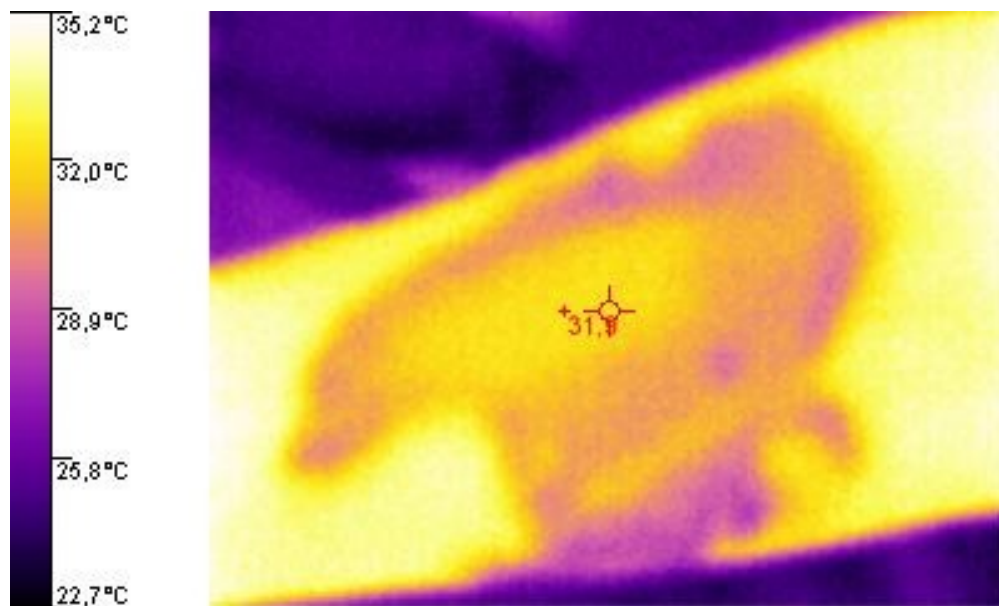


Sonda v provozu  
28,3 C

Sonda „frozen“  
26,5 C



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



**Autoři:**

**Vojtěch Mornstein, Erik Staffa, Ivo Hrazdira**

**Poslední revize: září 2024**