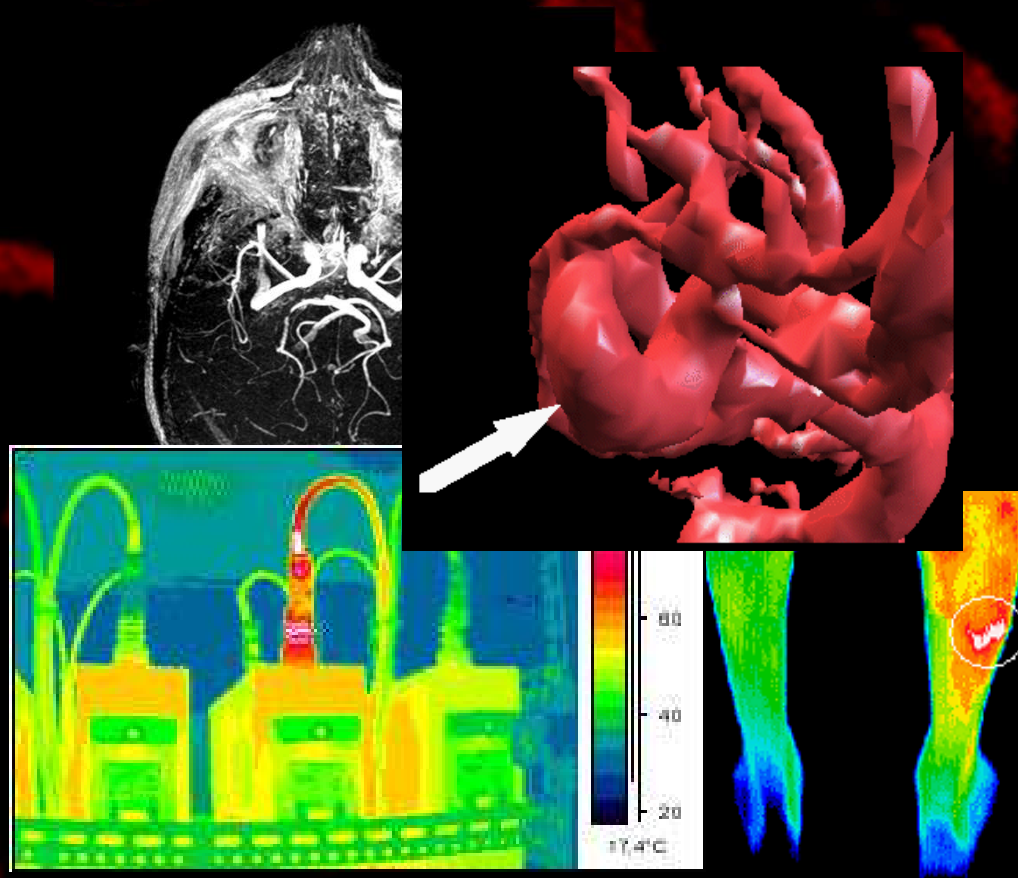


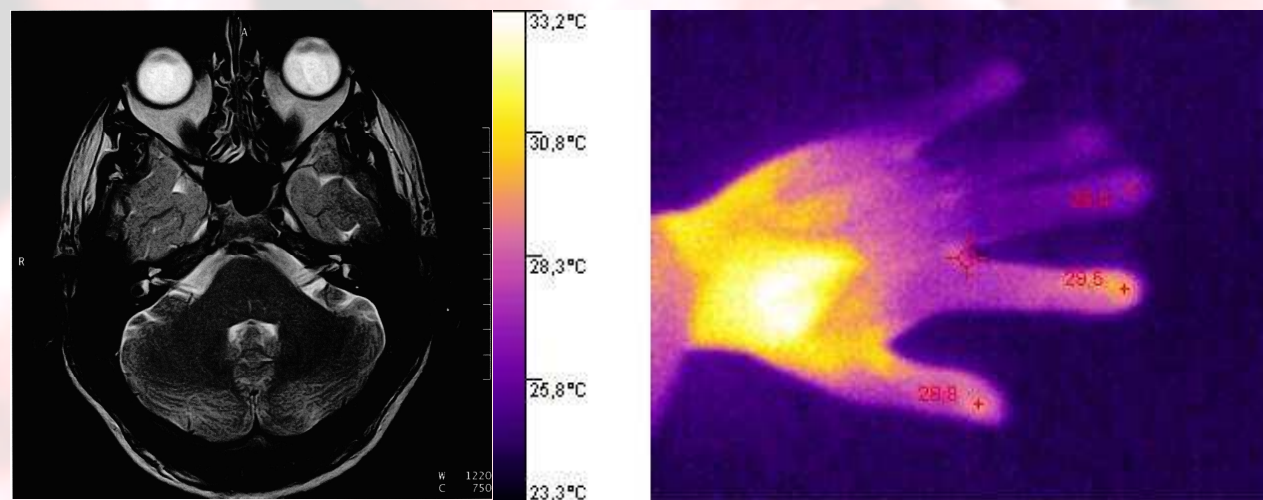
Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno



Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno



Magnetická rezonanční tomografie (MRI)
Infračervené zobrazení (termovize)

Magnetická rezonanční tomografie

Infračervené zobrazení

- Společným rysem těchto zobrazovacích metod je využití neionizujícího záření a absence genetického poškození.
- Magnetická rezonanční tomografie (*Magnetic resonance imaging* - MRI), zkráceně magnetická rezonance, je jednou z nejpokročilejších zobrazovacích metod, která poskytuje jak morfologické, tak i fyziologické (funkční) informace. První MR tomogram (příčný řez hrudníkem) získal R. Damadian v r. 1977.
- Infračervené zobrazení je funkční zobrazovací metoda poskytující obrazovou informaci o povrchové teplotě těla a tím i úrovni metabolismu. Je absolutně bezpečná pro pacienty, protože obrazy jsou vytvářeny infračerveným zářením, jehož zdrojem je *pacient sám*. První infračervené kamery se objevily koncem 60-tých let 20. století.

A blurred background image showing a person's hands holding a small, light-colored object, possibly a piece of paper or a small container. The image is out of focus, with the hands and object appearing as soft, light-colored shapes against a darker, indistinct background.

MRI

Spin

- Spin je specifickou vlastností subatomárních částic (elektronů, protonů atd.), stejně jako elektrický náboj a hmotnost.
- Spin vykazuje jisté zvláštní vlastnosti!
 - elektrony, protony a neutrony mají stejný spin, tj. $\frac{1}{2}$.
 - Páry částic téhož druhu (např. 2 elektrony nebo 2 protony nebo 2 neutrony) mohou mít celkový spin rovný nule.
 - Částice, která mají nenulový spin, působí jako malé magnety (říkáme, že mají „magnetický moment“) a jejich energie je ovlivněna, když je umístíme do magnetického pole.

Celkový jaderný spin (I)

- U MRI se zajímáme o spin JADER
- V medicíně jsou za účelem získání anatomických nebo fyziologických informací využívány magnetické vlastnosti především lehkých jader nuklidů jako je **vodík** ^1H , fosfor ^{31}P , uhlík ^{13}C , fluor ^{19}F nebo sodík ^{23}Na .

Nuklid	Celkový jaderný spin I
H - 1	$\frac{1}{2}$
He - 4	0
C - 12	0
O - 16	0
N - 14	1
F - 19	$\frac{1}{2}$
P - 31	$\frac{1}{2}$
Na - 23	$1\frac{1}{2}$

Teoretický základ MRI

- Magnetický moment jádra μ je úměrný jeho spinovému momentu hybnosti S ($\mu = \gamma S$, γ je **gyromagnetický poměr**), který závisí na celkovém jaderném spinu I .
- Za nepřítomnosti vnějšího magnetického pole mají magnetické momenty jader všechny možné (náhodné) směry, což vede k tomu, že:
 - Vektorový součet magnetických momentů jader v jednotkovém objemu látky, tj. **vektor magnetizace**, je roven **nule**.
 - Energie všech jader je stejná.

Jádra vodíku v homogenním magnetickém poli o indukci B

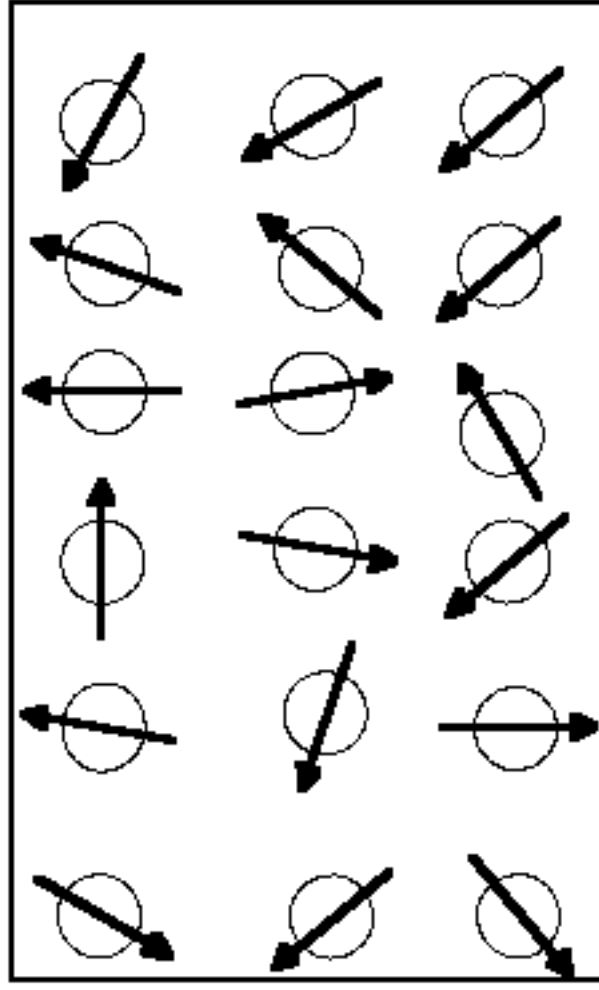
➤ Jestliže jádra *vodíku* umístíme do homogenního silného magnetického pole o magnetické indukci B :

- Jejich individuální magnetické momenty začnou vykonávat precesní pohyb s osou rovnoběžnou se směrem vektoru B a zorientují se buď ve směru stejném jako vektor B nebo opačném.
- Proto získávají pouze dvě možné hodnoty energie (vyšší a nižší energetický stav).
- Úhlová frekvence tohoto precesního pohybu – se nazývá **Larmorova úhlová frekvence** ω , přičemž platí:

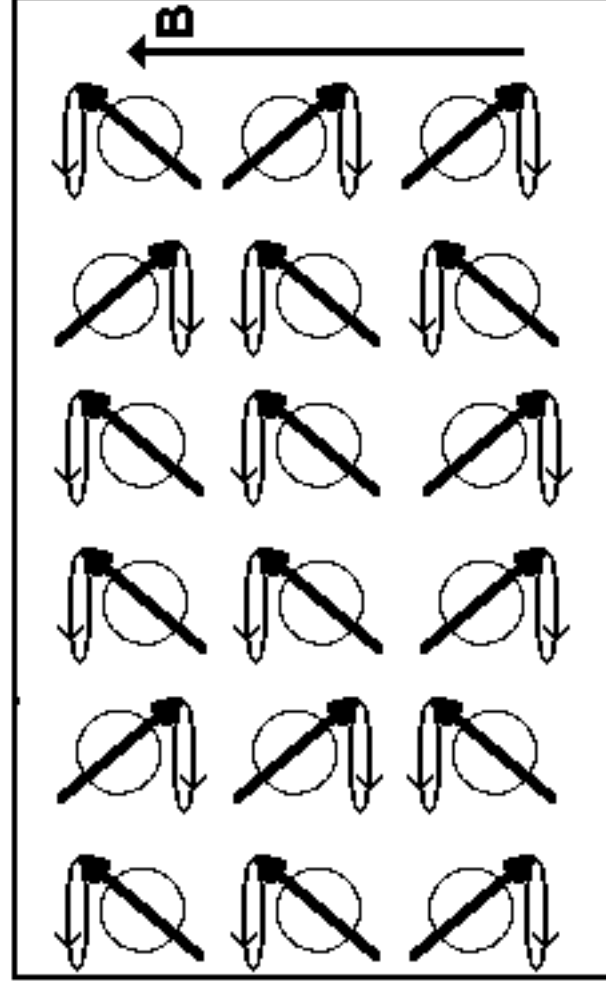
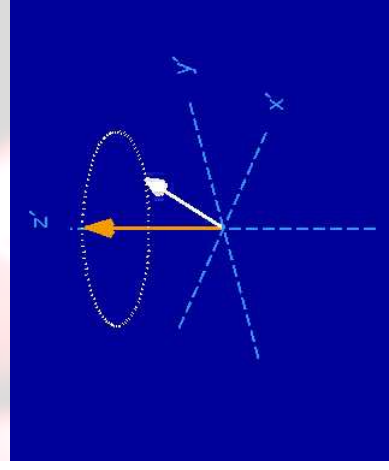
$$\omega = \gamma B$$

γ = gyromagnetický poměr

Hodnota této frekvence je u vodíku 42,6 MHz pro $B = 1\text{T}$

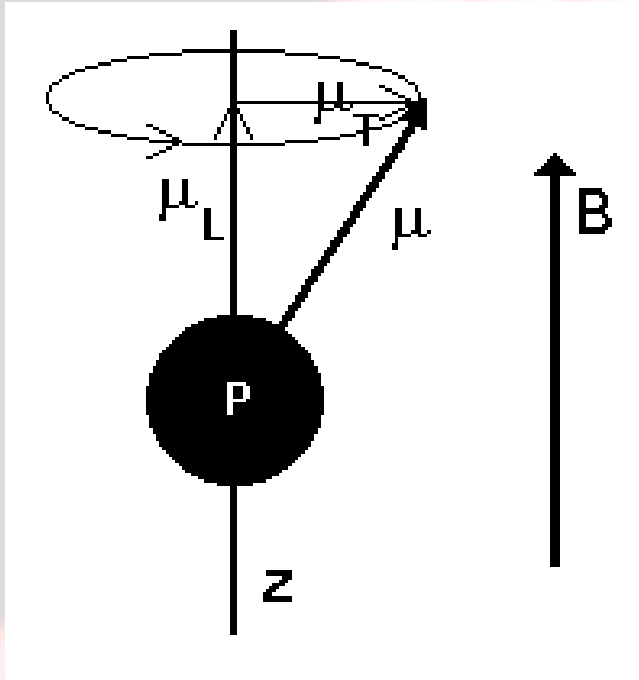


a) Původní stav látky. Vektory magnetických momentů jader jsou neuspořádané, jejich výslednice je nulová.



b) V silném magnetickém poli o indukci B se jádra zorientují tak, že nepatrně převážují průměty momentů souhlasně orientované s B . Vzniká precese.

Vektor magnetizace



P - jádro vodíku (proton), B - vektor magnetické indukce, z - osa z, ztotožněná s osou precese (paralelní s B), μ - magnetický moment jádra, μ_L - průmět magnetického momentu jádra do směru osy z (vektorový součet těchto průmětů v objemové jednotce látky je vektorem **longitudinální magnetizace**), μ_T - průmět magnetického momentu jádra do roviny xy (vektorový součet těchto průmětů v objemové jednotce je vektorem **transverzální magnetizace**).

Měření hustoty vodíkových jader ve tkáních

Aby se (v těle pacienta) dostala jádra z nižšího energetického stavu do stavu s vyšší energií, musí být vystavena radiofrekvenčním impulsům s frekvencí *rovnou* frekvenci Larmorově, k čemuž slouží vysílací cívky (proto hovoříme u MRI o resonanci). Současně dochází k fázovému sladění precesního pohybu jader.

***Vektor longitudinální magnetizace se orientuje do opačného směru.
Vektor transverzální magnetizace se objevuje a začíná rotovat v rovině xy.***

Proces si můžeme představit i jako postupné sklápění a překlápění vektoru magnetizace (viz učebnice).

Návrat do základního stavu (relaxace) je provázen emisí kvant elektromagnetické energie, která jsou detekována pomocí přijímacích cívek – vzniká **signál nukleární magnetické rezonance (NMR)**. Tento signál je relativně silný, protože precesní pohyb jader je fázově sladěn. Amplituda rezonančního signálu (impulsu) je úměrná hustotě vodíkových jader ve tkáni (často se říká „spinové hustotě“).

Relaxační časy

- Rozlišujeme dva **relaxační časy**:
- **T_1 - longitudinální (spin-mřížkový)** – čas potřebný pro návrat „populace“ jader do základního stavu. V biologickém prostředí: 150 - 2000 ms.

Vektor longitudinální magnetizace se během něj vrací do původního směru.

T_2 - transverzální (spin-spinový) - 2x - 10x kratší než T_1 . Po jeho uplynutí dochází rozfázování precesního pohybu jednotlivých jader.

Vektor transverzální magnetizace po uplynutí tohoto času mizí.

Magnetická rezonanční tomografie (*Magnetic resonance imaging* - MRI)

- Abychom mohli rozlišit signály z různých částí pacientova těla, používají se gradienty („postupné změny“) magnetického pole. Např. gradient B podél osy z nám umožňuje identifikovat signály přicházející z různých plátek (řezů) těla pacienta, které jsou kolmé k ose z. Podobně lze aplikovat gradienty v jiných směrech.
- Výsledný obraz se získává podobným způsobem zpracování informace jako u CT (Fourierovou transformací).
- Můžeme zviditelnit místní rozdíly hustoty vodíkových jader nebo rozdíly v relaxačních časech.

Technické aspekty

- Až do hodnoty $B = 0,4 \text{ T}$ lze použít obřích permanentních magnetů (levný provoz, avšak nízké rozlišení kontrastu).
- Elektromagnety poskytují silnější pole, avšak vyžadují velké množství elektrické energie.
- Nejlepší rozlišení kontrastu, avšak také největší provozní náklady mají **magnety se supravodivým vinutím cívek**. Poskytují dnes magnetické pole až do hodnoty $B = 10 \text{ T}$, avšak musejí být chlazeny kapalným heliem. V praxi používané hodnoty B se pohybují v rozmezí $1 - 3 \text{ T}$.
- **Gradients** magnetického pole (řádově mT.m^{-1}) se získávají přídatnými cívkami.

MR-kontrast a NMR-spektroskopie

- Některé paramagnetické atomy mohou zesílit signál. Z tohoto důvodu se používá jako kontrastní prostředek pro MRI např. **gadolinium**. Gadolinium je chemicky vázáno k vhodné látce, např. DTPA - diethylén-triamino-penta-octové kyselině.
- Přesná hodnota Larmorovy frekvence se mírně mění (posunuje) podle polohy vodíku v molekule. Dobře měřitelné jsou například různé posuny pro vodík ve skupinách $=CH-$ nebo $-CH_2-$. Toto nám umožňuje identifikovat různé chemické změny **in-vivo** pomocí **NMR – spektroskopie**, což je mocný nástroj s aplikacemi při funkčních vyšetřeních pomocí MRI (analýza obsahu ATP ve tkáni apod.). Přístroje pro MRI jsou zpravidla nastaveny na rezonanci vodíku, který je součástí molekul vody.

Bezpečnostní aspekty

- Magnet může poškodit jiné lékařské přístroje nebo ovlivnit jejich funkci. Proto je MRI přísně kontraindikováno u pacientů s nějakým elektronickým zařízením v těle (kardiostimulátory, kochleární implantáty aj.)
- Železné předměty jsou silně přitahovány do portálu přístroje – mohou přístroj poškodit a způsobit zranění. MRI je přísně kontraindikováno u pacientů s jakýmikoliv železnými tělesy v těle (implantáty, projektily, střepiny granátů aj.)
- MRI se nedoporučuje v prvním trimestru těhotenství.
- Menší problémy mohou způsobovat jakékoliv kovy v těle nebo na povrchu těla (ohřev, svědění). Například: šperky, některé maskary, stará tetování, zubní výplně, korunky a můstky, implantáty aj.)
- Někteří pacienti trpí úzkostí nebo jsou uvnitř přístroje neklidní, protože vyšetření doprovází značný hluk. Běžná je klaustrofobie.

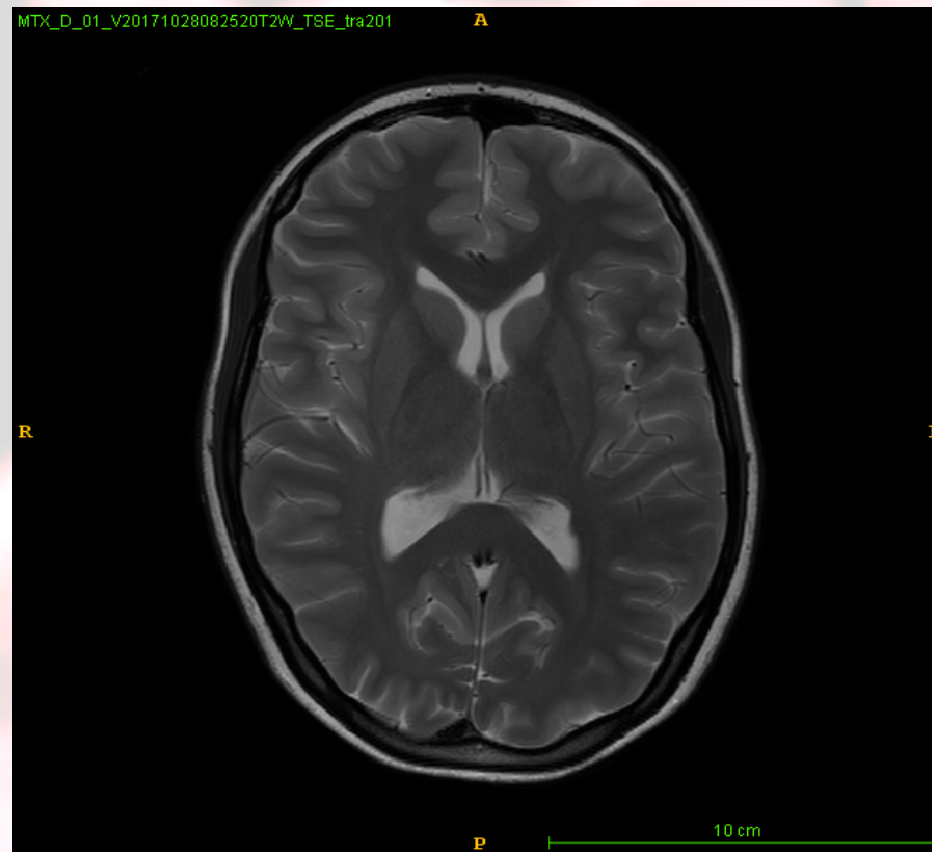
Důležité upozornění

Magnetické paměti (např. kreditní karty) mohou být v blízkosti přístroje zničeny.

Přístroje pro MRI



Příčný řez mozkiem



MR - Angiogram



<http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside.htm>

Sagitální řez krční páteří

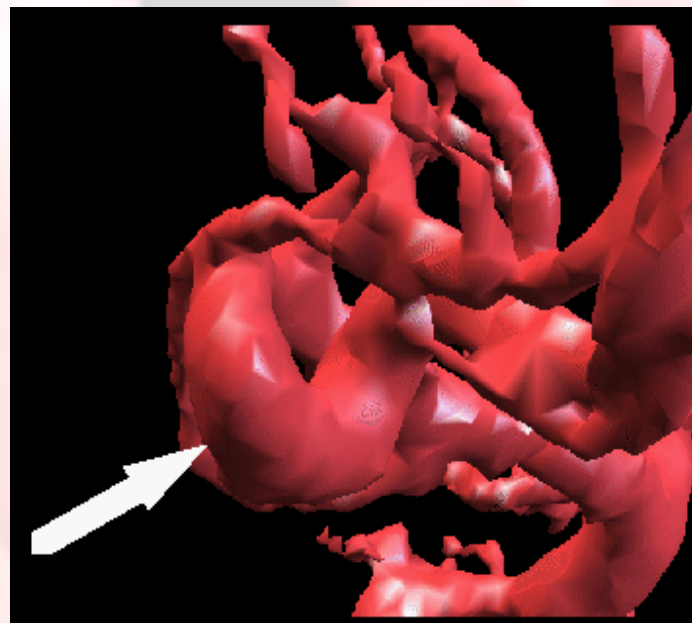
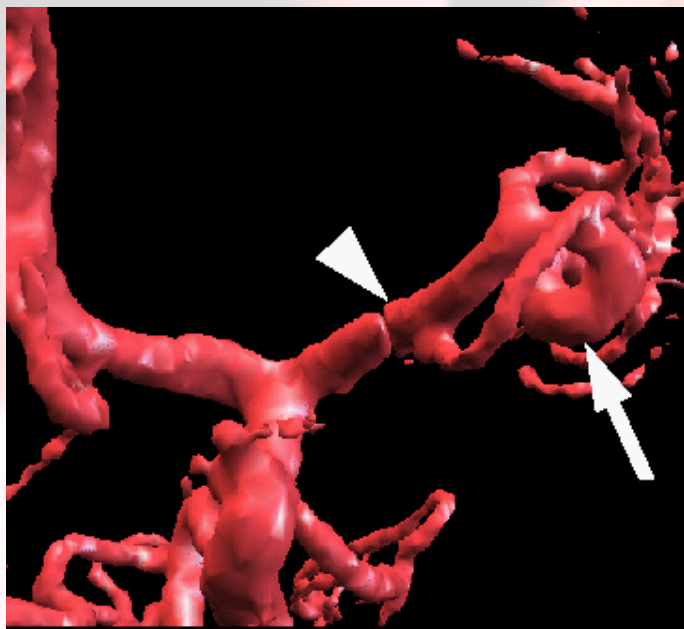


Sagitální řez kolenem



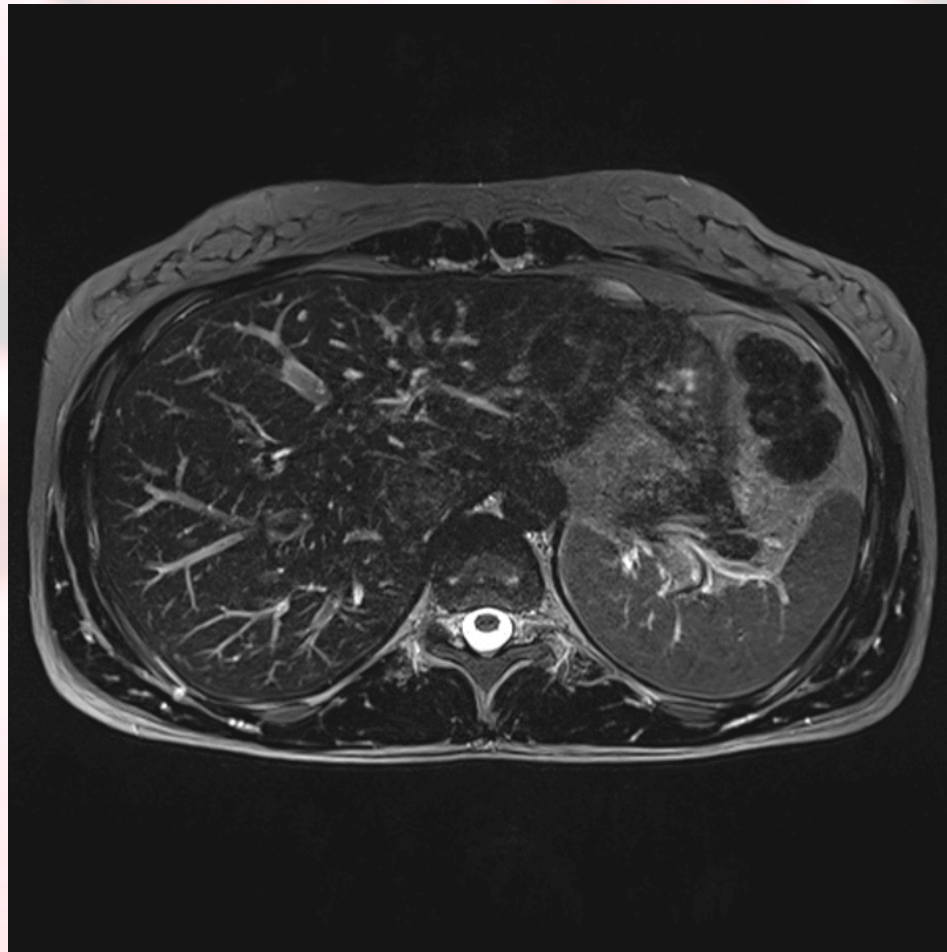
A) Šikmý frontální pohled na 3D model ukazující stočení levé *A. cerebri media* (šipka) a M1 segment téže arterie (klín)

B) Levý laterální pohled na 3D model ukazuje též stočení *A. cerebri media* (šipka ukazuje dobře patrné aneurysma)
Toto nejsou plastové modely, ale skutečné výsledky zpracování MRI obrazu!



Plynulé prohlížení příčných řezů

(vyšetření vývodu pankreatu)



<https://www.healthcare.siemens.com.au/magnetic-resonance-imaging/options-and-upgrades/clinical-applications/syngo-space>

The background of the slide is a blurred image showing several hands of different skin tones reaching out and holding a globe. The image is out of focus, creating a sense of global unity and teamwork.

Termografie

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

Princip snímání obrazu

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

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. Sady mikrobolometrických mřížek jsou k dispozici v různých velikostech – např. 244 x 193 (Meditherm), 160×120 (Fluke).



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

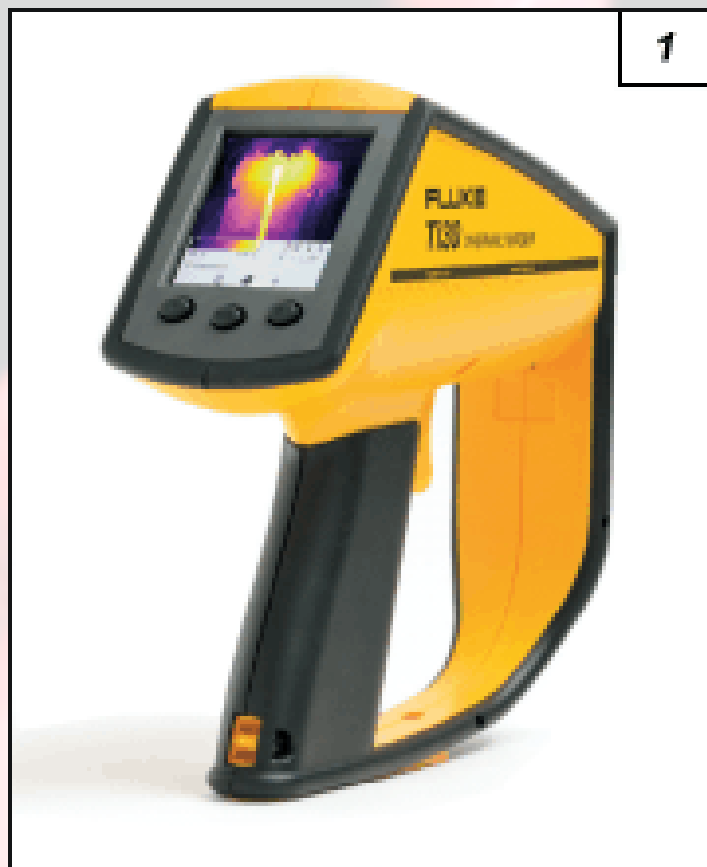
- 10 x True colour palettes
- 1 x 16-step grayscale.
- 3 x 16-step Isotherm.
- Dynamic range: 24 bits
- Image stored in TIF format
- Image size 95kb
- Temperature step sizes: 0.1 - 2°C

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%

IR kamera na Biofyzikálnímu ústavu LF MU, Brno

Fluke Ti30



Příslušenství



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

- Vysoké teplotní a prostorové rozlišení
- Rozložení teplot je znázorněno pomocí izoterem
- Možnost zobrazení teplotních profilů
- Rychlé měření

- Rozložení povrchové teploty je různé i u zdravých lidí
- Musíme vždy 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 specifitu.

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 po rekonstrukční plastické chirurgii...

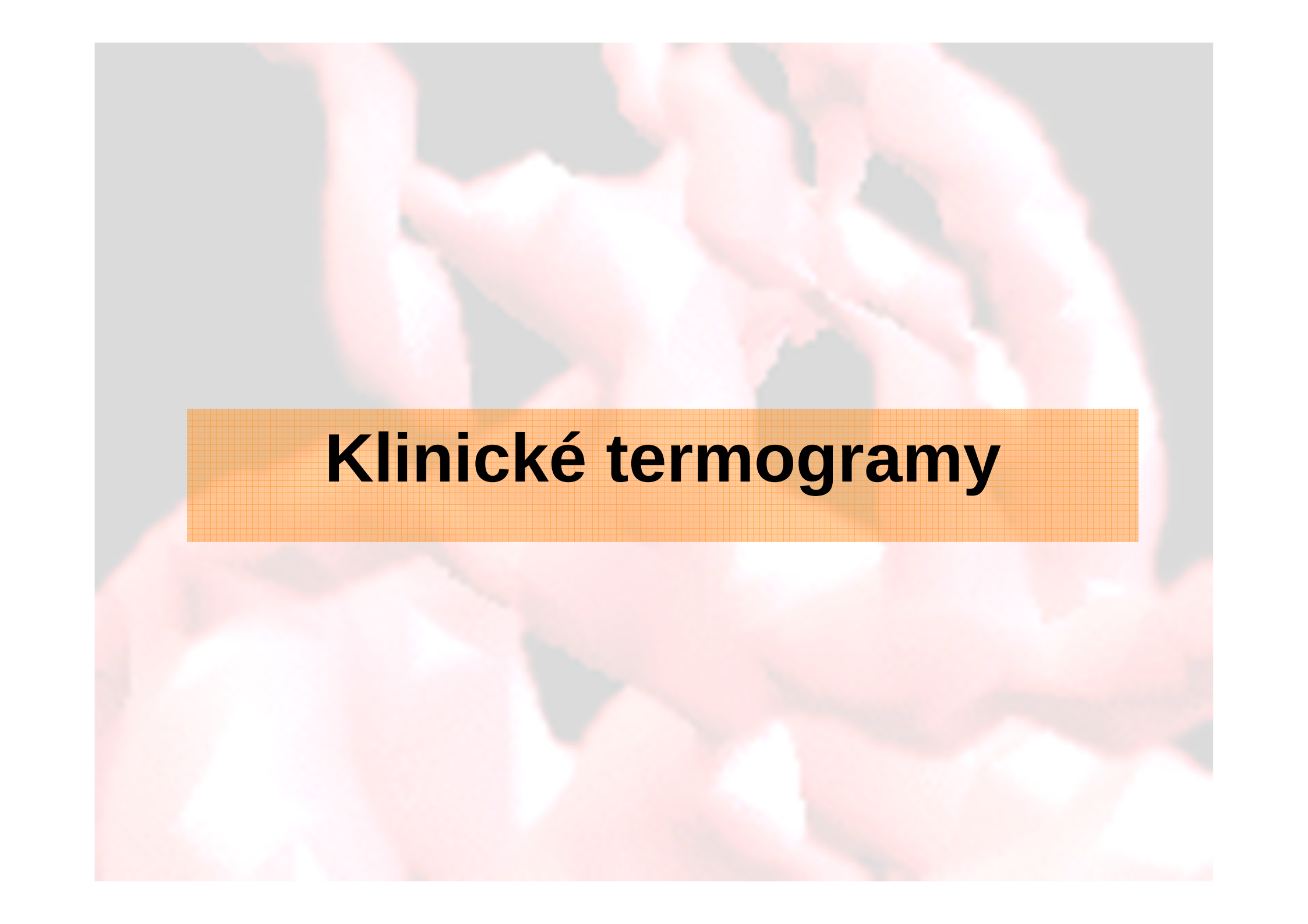
Podmínky zobrazení:

Teplota zatemněné místnosti 20 °C

Aklimatizační doba kolem 20 min.

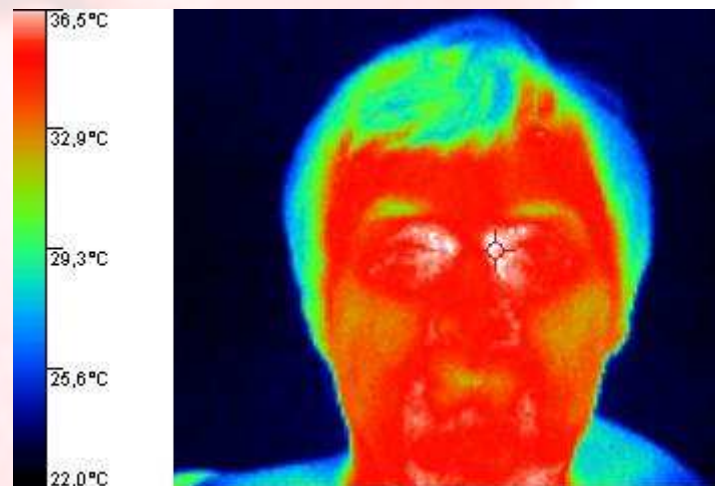
Vyšetřovaná část těla musí být v průběhu aklimatizace odhalena.

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

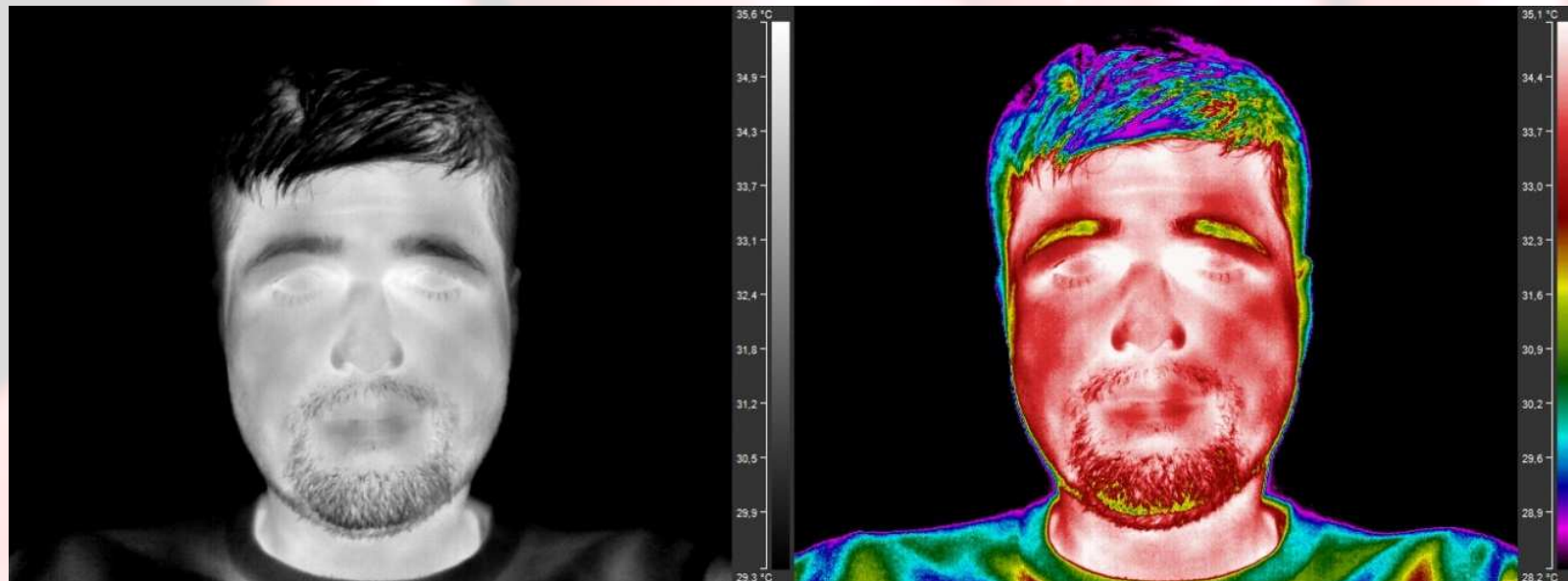
A blurred background image showing a pair of hands gently holding a heart. The hands are in shades of pink and red, and the heart is a lighter, pale pink. The overall image is out of focus, creating a soft, ethereal atmosphere.

Klinické termogramy

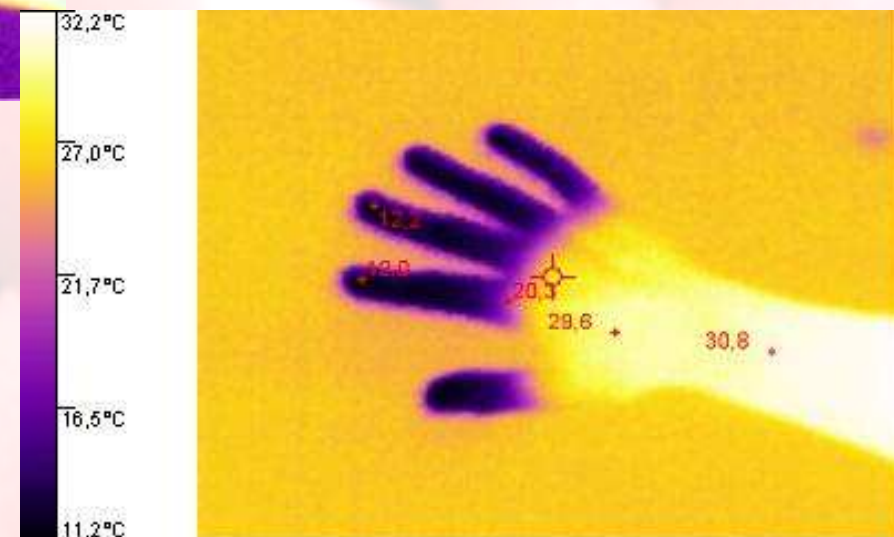
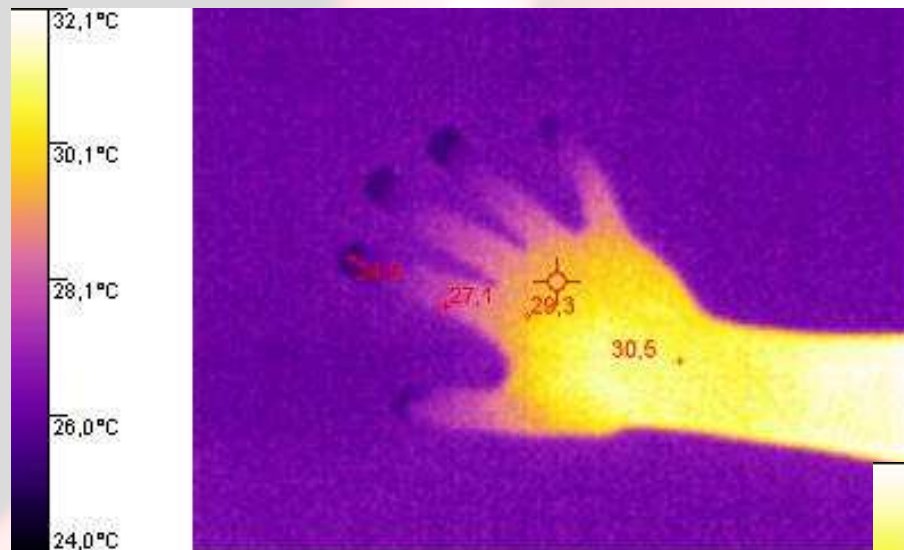
Různé palety pseudobarev (Fluke)



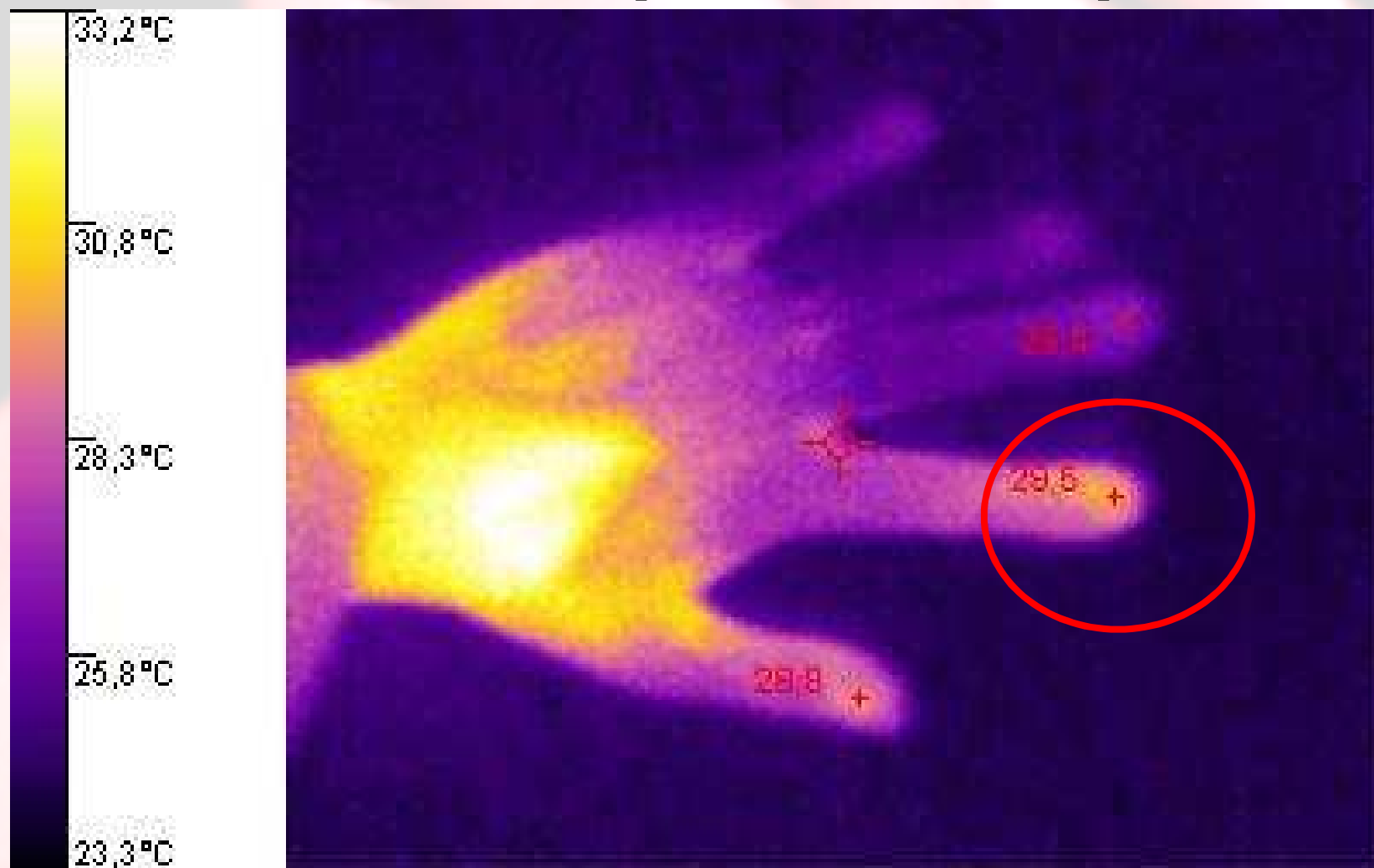
Lidská tvář (kvalitnější kamera)



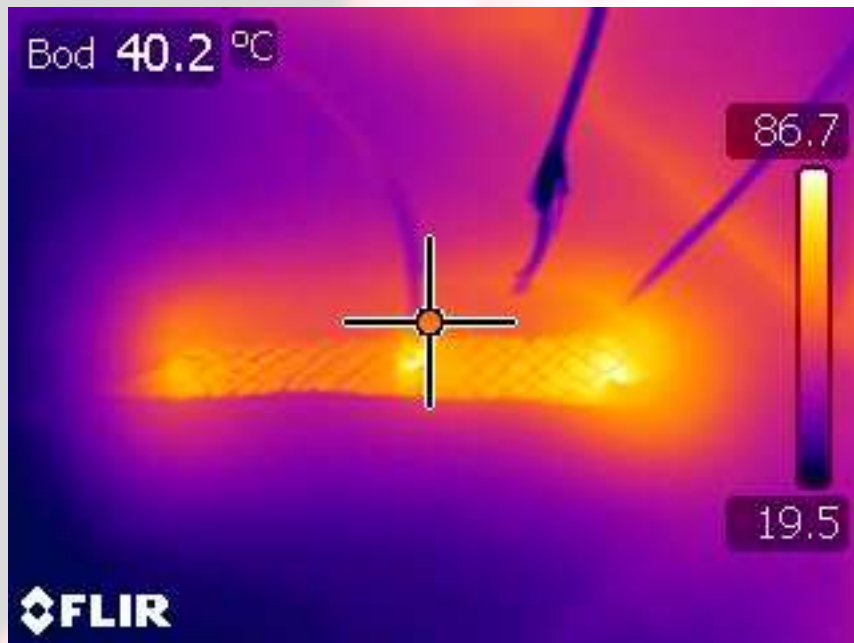
Termogram prstů před a po chlادovém testu (Fluke)



Zánět posledního článku prstu po malém zranění (FLUKE Ti30)

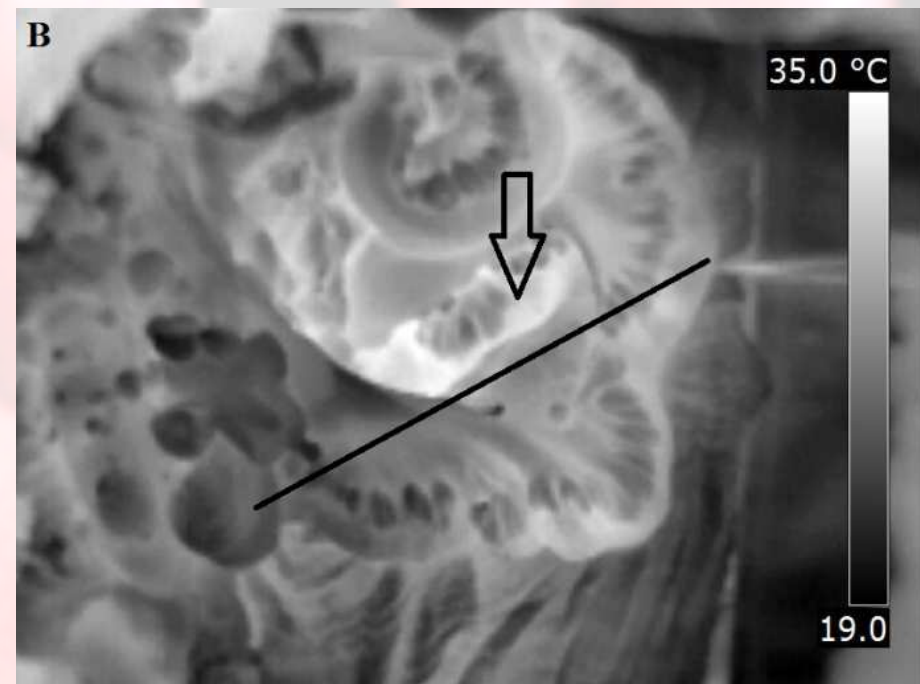


Klinická termografie

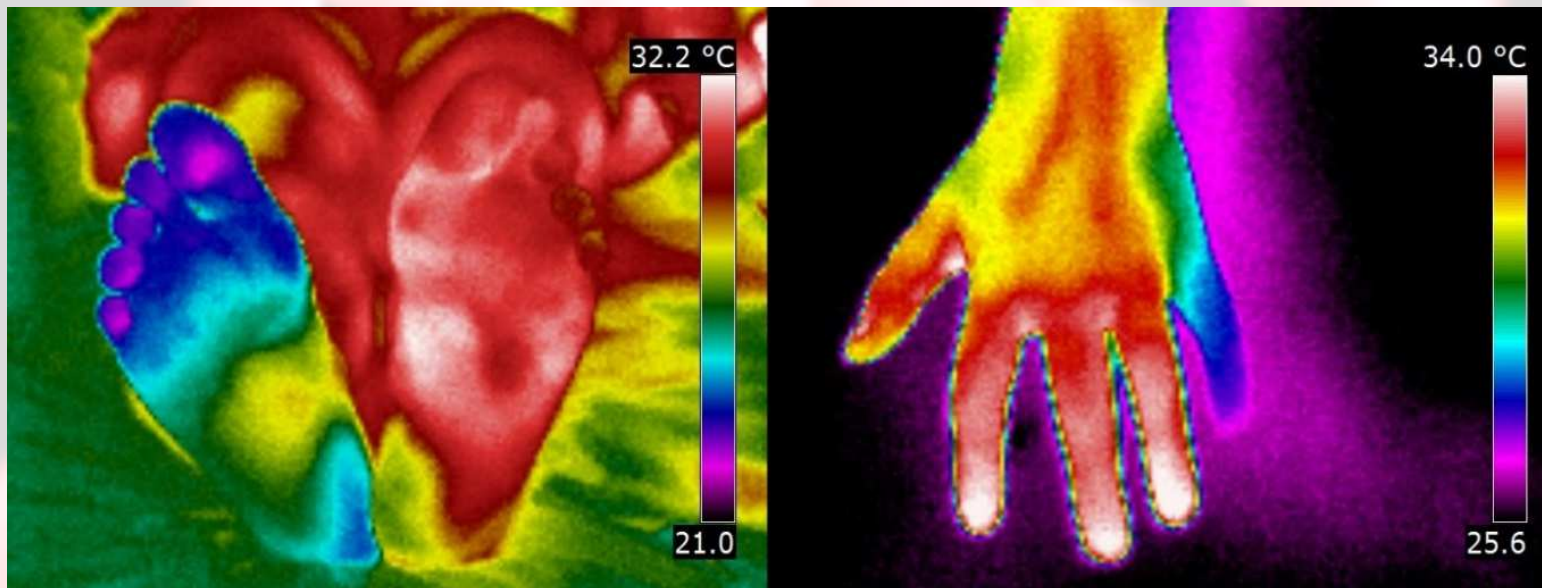


Ohřev stentu pomocí
radioablačního zařízení
(experiment)

Identifikace části střeva pro
resekci (experiment)



Klinická termografie



Termogram vlevo: příklad akutní končetinové ischemie u pacienta s ischemickou chorobou dolních končetin.

Termogram vpravo: levá horní končetina s parézou *n. ulnaris* a vliv na povrchovou teplotu.

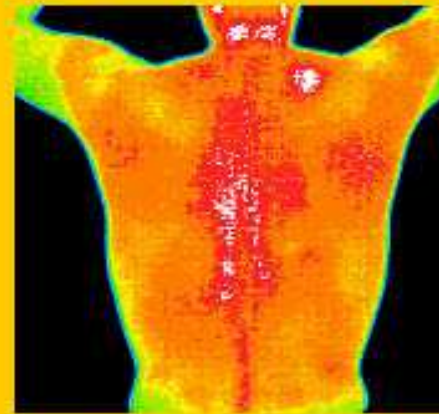
Myofascial Trigger Point Upper Right Levator Scapula

Diffuse Patterns Of Hyperthermia Over Central Spine

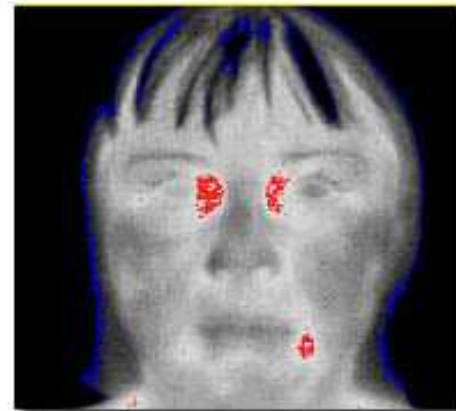
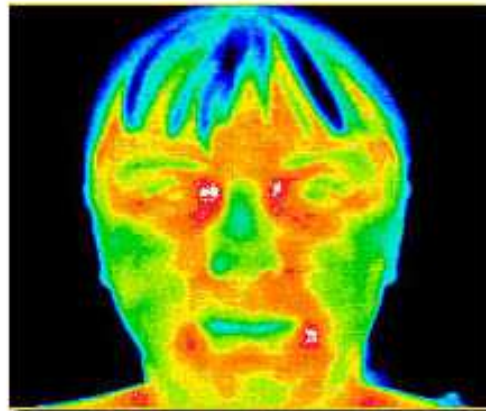
Cervical Inflammation



Isotherm Palette

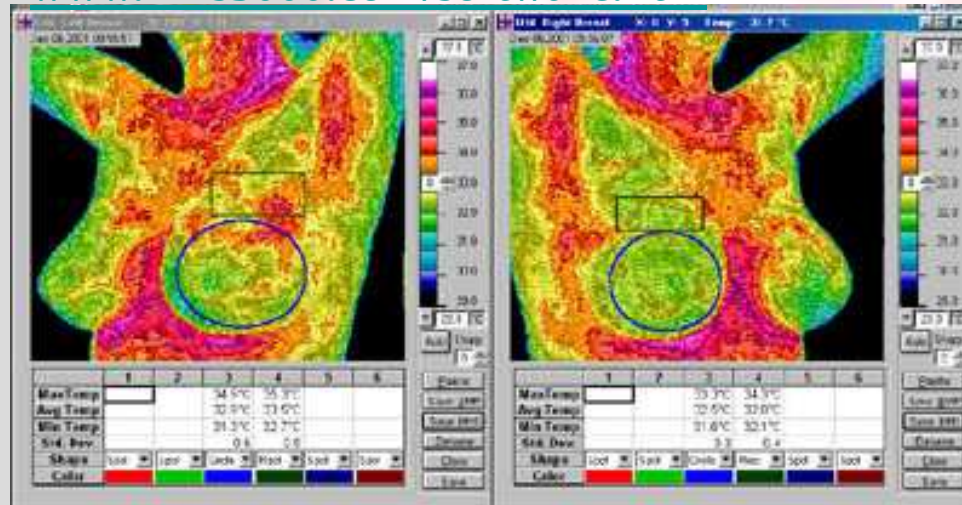


Standard Color Palette



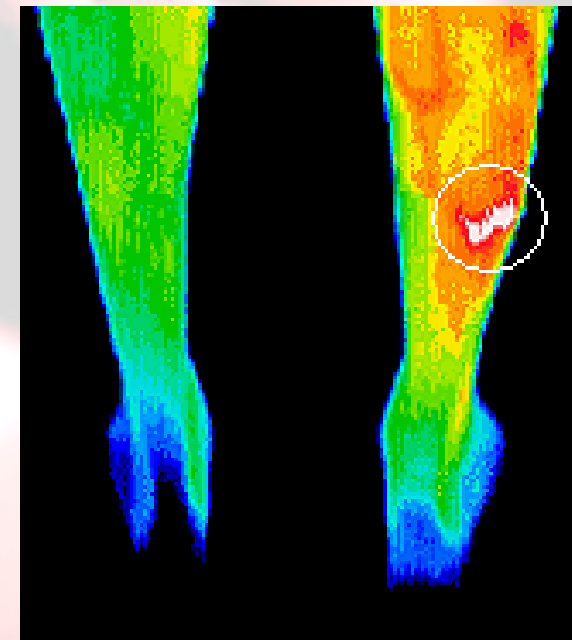
obrázky: www.mhs5000.com/software.htm.

www.mhs5000.com/software.htm

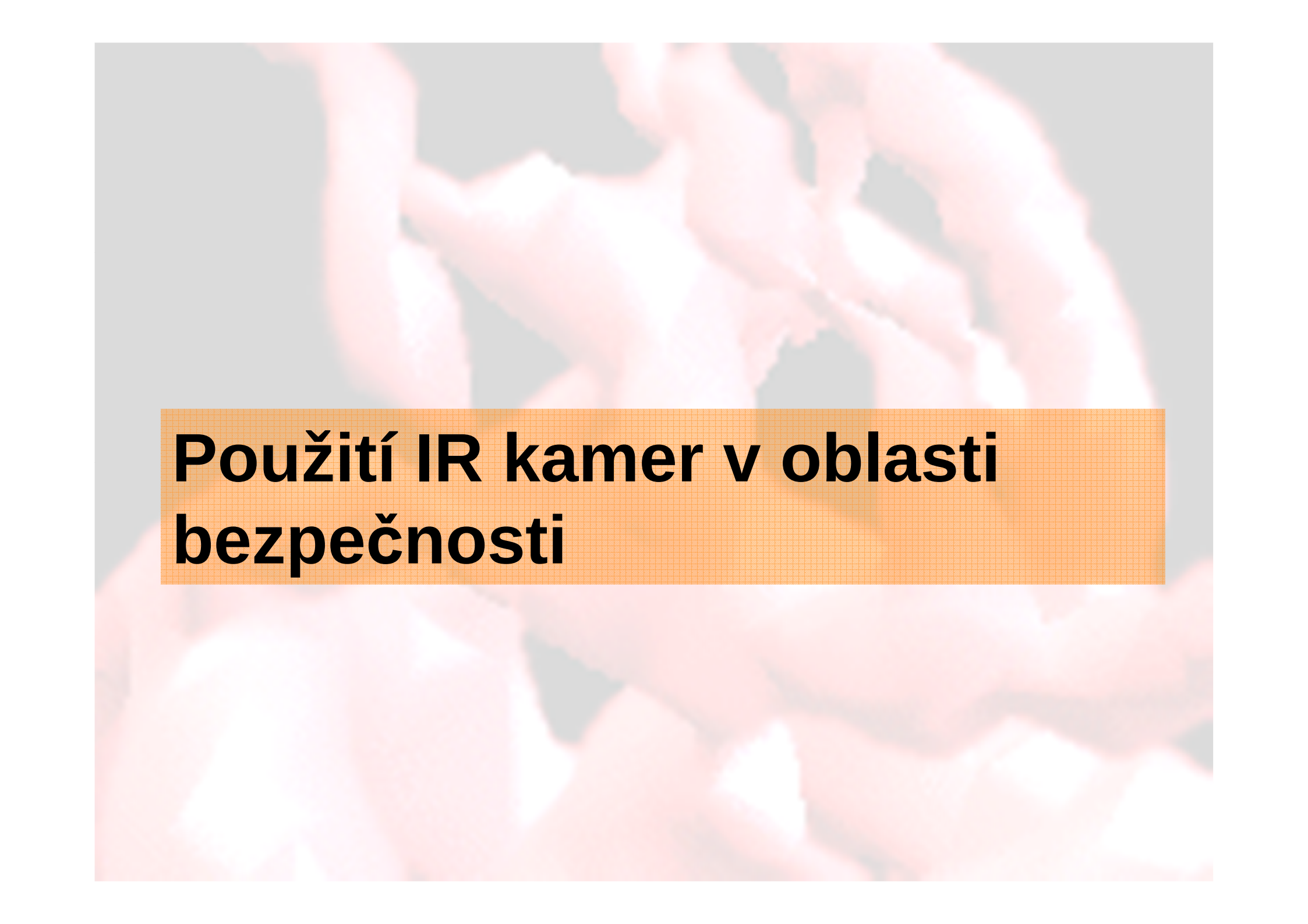


Únavová zlomenina u fotbalisty.

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.

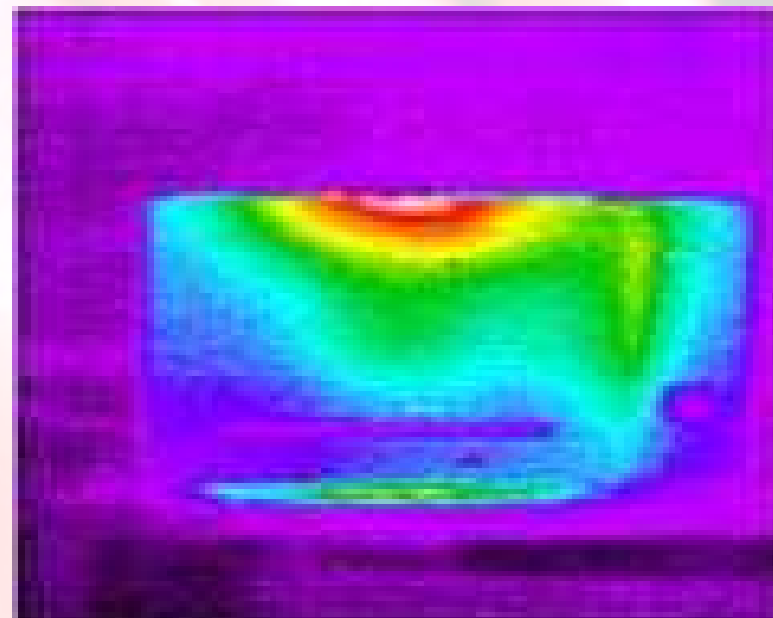


www.dititexas.com/page6.html

The background of the slide is a blurred image showing a pair of hands holding a small, light-colored electronic device, possibly a smartphone or a small tablet. The hands are positioned as if they are presenting or demonstrating the device. The overall tone of the image is soft and out-of-focus.

Použití IR kamer v oblasti bezpečnosti

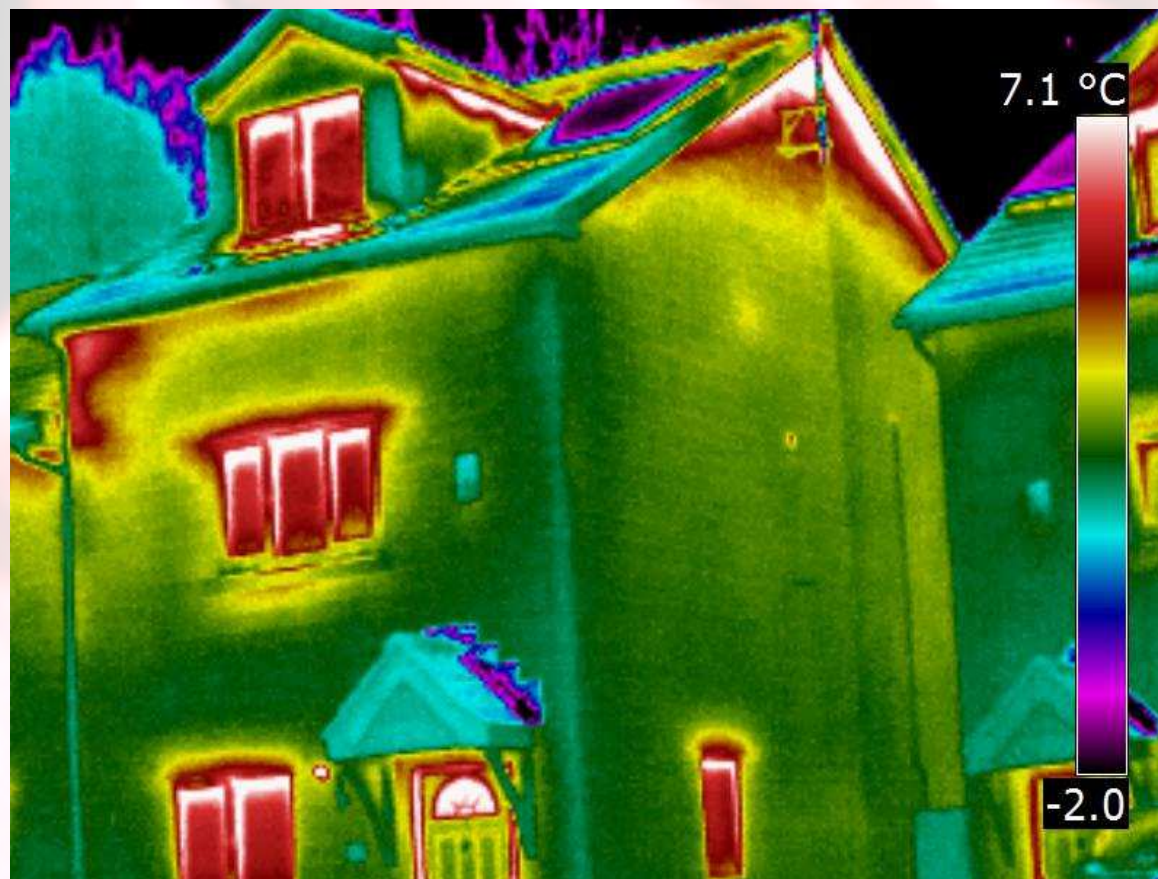
Pec propouštějící teplo – kontrola tepelných zařízení



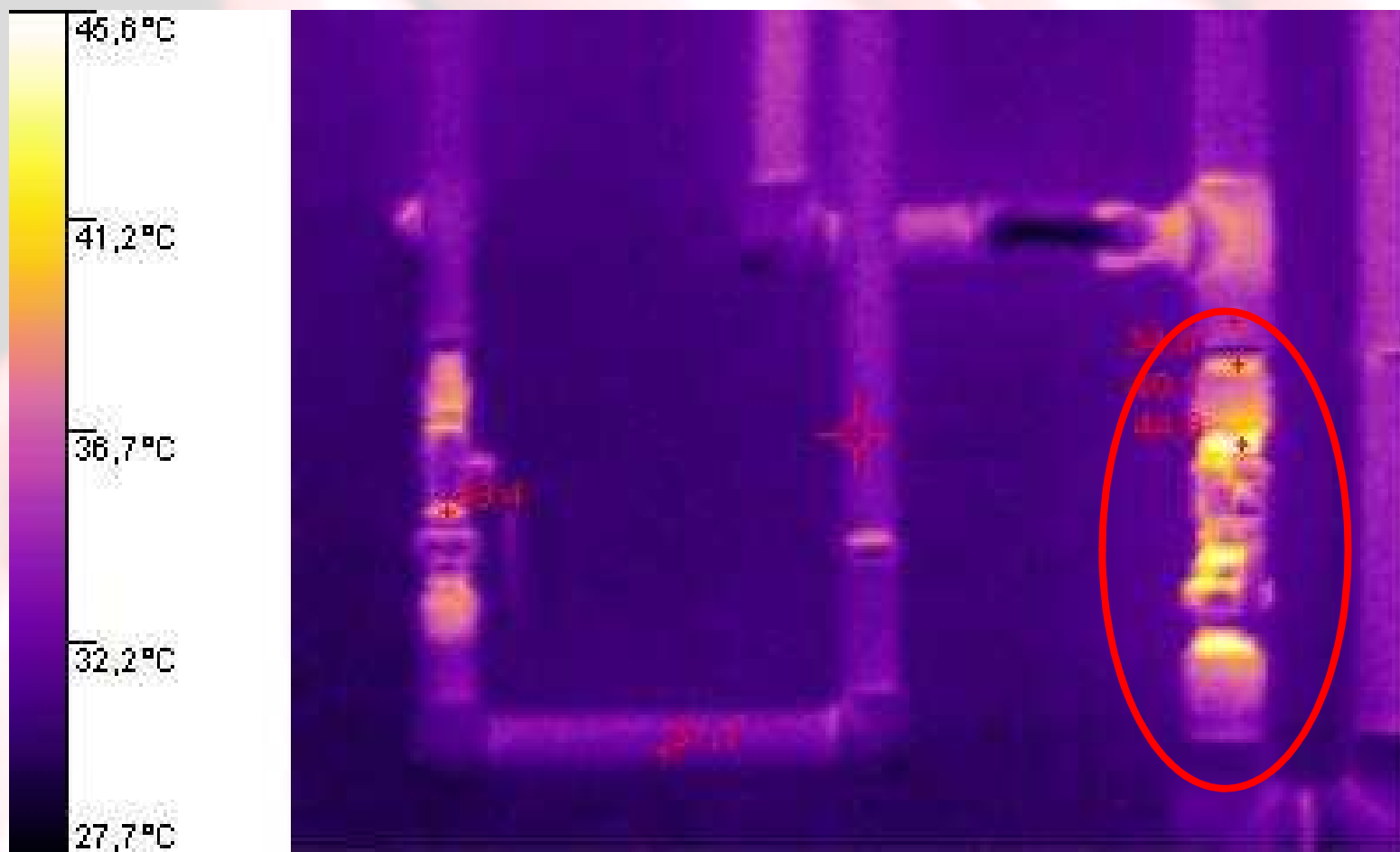
Přehřátý kabel



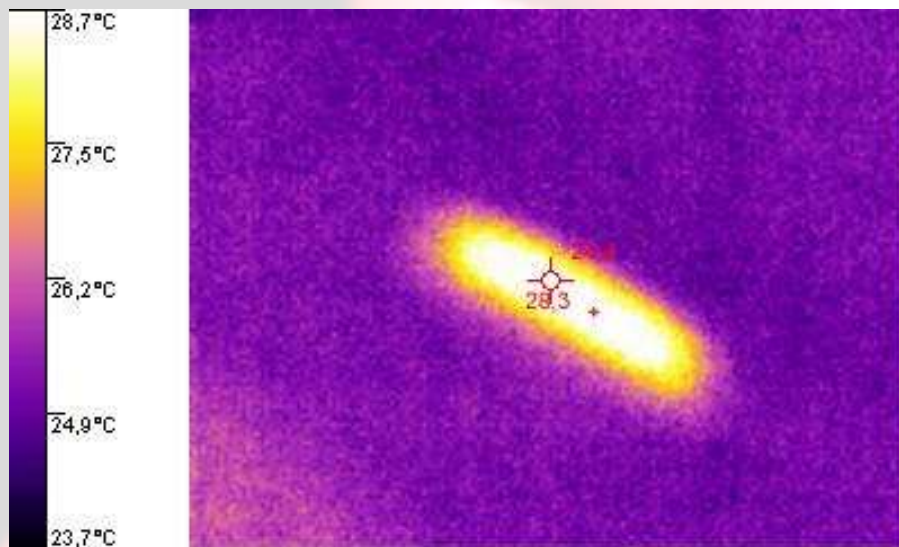
Termografie ve stavebnictví



Nízká kvalita izolace teplovodního potrubí v oblasti spojů (Fluke)

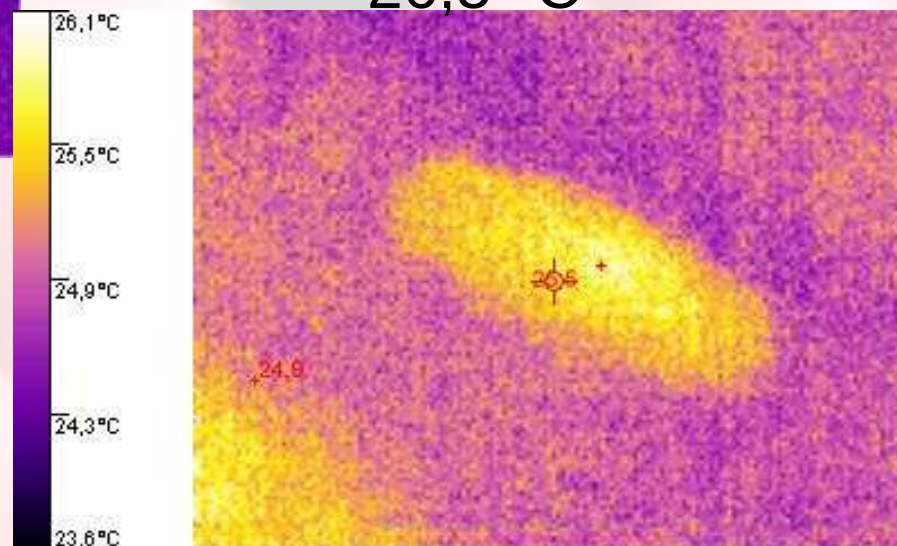


Ultrasonografická sonda (Fluke)

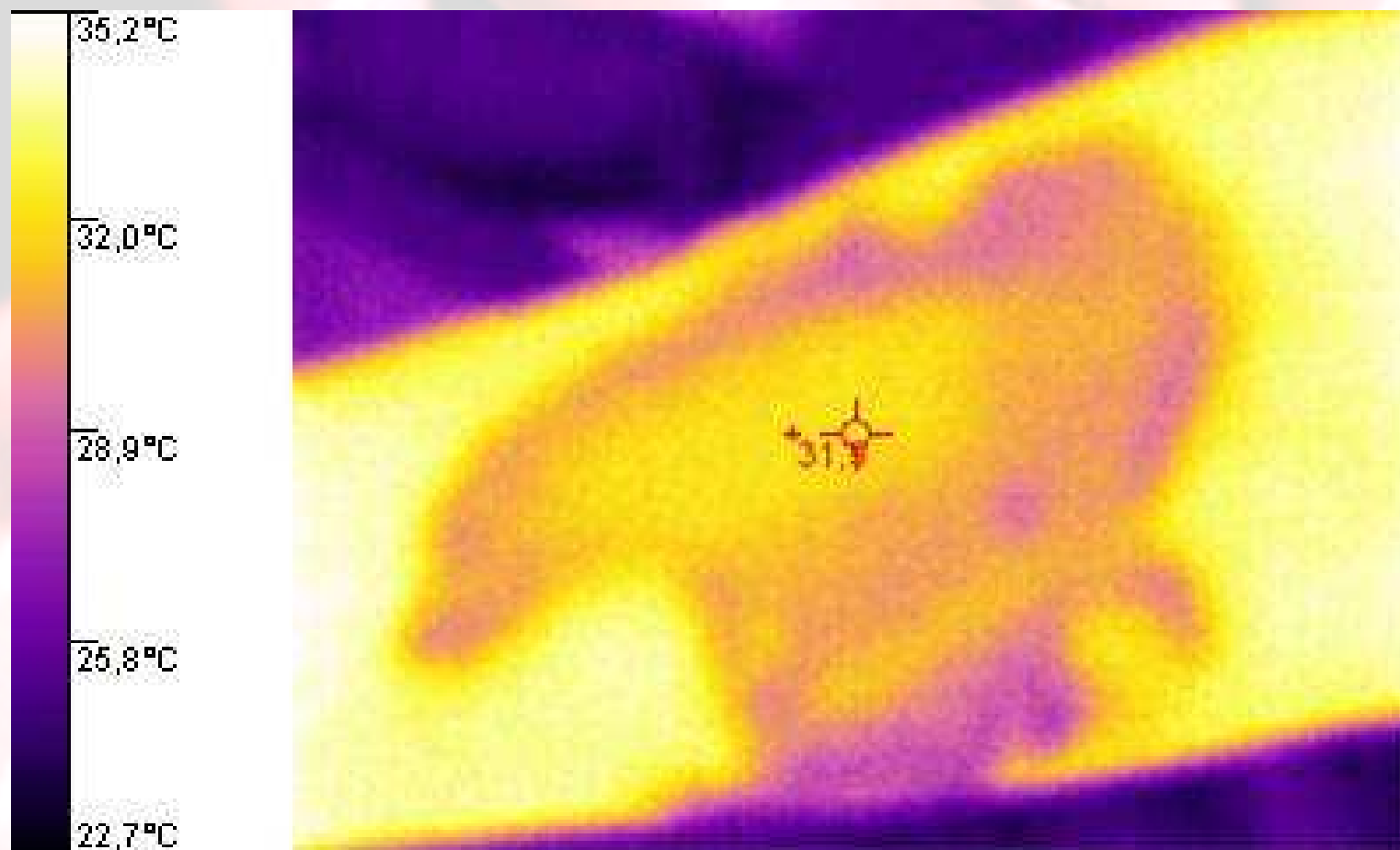


Sonda v provozu
28,3 °C

Sonda „frozen“
26,5 °C



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



Autoři:

**Vojtěch Mornstein Carmel J. Caruana
Ivo Hrazdira**

Poslední revize: Březen 2012

Poslední revize: listopad 2018

Lucie Mornsteinová

Grafika: