

# VYUŽITÍ TERMovIZE U PACIENTŮ S REVMATOIDNÍ ARTRITIDOU

Z. Horáková

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství

## Abstrakt

Práce se zabývá termovizním měřením pacientů, kteří trpí různými formami artritidy. Revmatoidní artritida je chronické systémové onemocnění, které postihuje především klouby. Cílem práce je ověřit možnost využití snímání termokamerou při diagnóze tohoto onemocnění. U revmatoidní artritidy je důležité, aby stanovení diagnózy a následná léčba byla zahájena co nejdříve, platí však, že žádný klinický ani laboratorní nález nepotvrzuje diagnózu revmatoidní artritidy zcela jednoznačně. V práci je navržena metodika pro měření a vyhodnocení získaných obrázků, které jsou statisticky zpracovány.

## 1 Metody

Práce se zabývá možností použít termokameru při diagnostice revmatoidní artritidy. Snímkování pomocí termokamery je v diagnostice dosud spíše málo využívanou zobrazovací metodou. Při termografickém vyšetření člověka pomocí infračervené kamery dochází k záznamu rozložení teplotních polí na povrchu těla. Cílem práce je prostudovat tuto metodu a její možnosti při diagnostice revmatoidní artritidy.

Revmatoidní artritida (RA) je chronické onemocnění, které napadá různé klouby a postihuje přibližně 1 % populace, častěji onemocní ženy. Revmatoidní artritida postihuje lidi ze všech etnických skupin. Důvody které vedou k onemocnění nejsou dosud zcela objasněny. Jedním z prvotních příznaků tohoto onemocnění je zánětlivá reakce v postižených oblastech a s tím související zvýšená teplota v postižené tkáni a v blízkém okolí. Z hlediska léčby je důležitá včasná diagnóza a zahájení léčby, protože k poškození postižených kloubů dochází zejména během prvních dvou let průběhu nemoci. Z hlediska diagnózy neexistuje žádná metoda, která potvrzuje onemocnění revmatoidní artritidou na 100 %. Z hlediska zobrazovacích metod je při diagnostice revmatoidní artritidy využíván především rentgen a ultrazvuk.

Technika snímání infračerveného záření zaznamenala za poslední roky značný rozvoj, který je doprovázen zlepšením technických parametrů termokamery, které umožňují nejen rychlejší snímání, ale i lepší teplotní rozlišení. Termokamery mají i lepší fyzické rozlišení snímacích čipů. Z hlediska využití termokamer v praxi je důležité, že technický pokrok ve vývoji snímání infračerveného záření je doprovázen i poklesem cen termokamer. Tyto ceny se ale stále pohybují v řádu statisíců až milionů. V současné době se termokamera hojně využívá v průmyslu např. k nedestruktivní defektoskopii, kontrolu elektrických rozvodů, kontrolu různých strojních mechanismů a dílů (např. ložisek), systémů vytápění, nebo třeba kontrolu různých tepelných izolací.

Termokamerou je měřeno infračervené záření, které je vyzařované z povrchu těla pacienta. Místnost ve které se měření by měla proto splňovat standardní podmínky pro průchod elektromagnetického záření.

Faktory ovlivňující kvalitu měření jsou:

- teplota v místnosti
- plocha místnosti (neměla by přesahovat 20 m<sup>2</sup>)
- vlhkost vzduchu
- proudění vzduchu
- odclonění tepelných zářičů
- ustálení tělesné teploty

Termografická měření probíhala za podpory lékařů na lůžkovém oddělení Revmatologického ústavu v Praze. V první části ověřování aplikace moderní termovizní techniky v klinické praxi bylo úkolem potvrdit nálezy na termosnímčích u již diagnostikovaných pacientů, což je náplní této práce. Pokud se potvrdí hypotéza, že termografie je vhodná metoda pro měření pacientů s revmatoidní artritidou, bude vhodné v další fázi snímkovat i pacienty, kteří přijdou na revmatologickou ambulanci pouze s podezřením na RA, s cílem diagnostikovat RA ve velmi ranné fázi, kdy nemoc ještě není zachycena lékařem. Předpokládá se zahájení pravidelného měření pacientů s RA a sledování eventuálního progresu onemocnění. Před zahájením jednotlivých měření podepsaly všechny pacientky informovaný souhlas a byly poučeny o průběhu měření. Termografické snímání bylo prováděno kamerou s nechlazeným detektorem typ E 300 od firmy FLIR s teplotním rozlišením 0,1 °C [1]. Kameru pro potřeby této práce zapůjčilo Společné pracoviště ČVUT a UK na Albertově.

Použitá kamera má mozaikový detektor s rozlišením 320 x 240 pixelů. K vyhodnocování termogramů je použit program společnosti FLIR ThermaCAM™Researcher 2.8. Pomocí tohoto programu lze vyhodnocovat termogramy jak kvantitativně (tj. zjišťovat absolutní teploty, teplotní profily a histogramy ve zvolené oblasti) tak kvalitativně (tj. po zvolení vhodné teplotní škály pozorovat prostorové rozložení teplot na termogramu).

U jednotlivých pacientek byly fotografovány a měřeny klouby postižené revmatoidní artritidou, jež byla diagnostikována lékařem za pomoci sonografie.

Nejprve byla každá pacientka vyfocena fotoaparátem, aby se dala porovnat místa otoků na kloubech s termogramem. Fotografie také umožňuje lékařům vizuální pohled a zhodnocení postiženého místa. Další fází měření bylo snímkování termokamerou. Oba snímky jsou pořízeny ve stejné poloze, aby bylo možné co nejjednodušší porovnání získaných snímků.

Měření bylo prováděno v pokojích pacientek. Teplota vzduchu byla vždy přibližně 22 °C a podobná byla i hodnota vzdušné vlhkosti. Při měření bylo zamezeno nadměrné cirkulaci vzduchu v pokoji a byly odstraněny všechny vlivy, které by mohly negativně ovlivnit měření.

Při měření měly pacientky obnaženou část těla, na které bylo měření prováděno. Před měřením byla ponechána vždy doba přibližně cca 20 minut klidu, aby došlo k ustálení tělesné teploty. Pacientky byly požádány, aby si sundaly všechny šperky, protože mají jinou emisivitu než lidská pokožka a došlo by k narušení měření. Narušení snímání termogramů šperky se potvrdilo u pacientky, která díky závažnosti artritidy nemohla sundat prstýnek. Hodnoty teplot u termogramu této pacientky se výrazně lišily od ostatních a byly z dalšího zpracování naměřených dat vyloučeny. Termokamera byla při měření připevněna na stativu, aby termogramy nebyly rozmazány a měly co nejvyšší kvalitu.

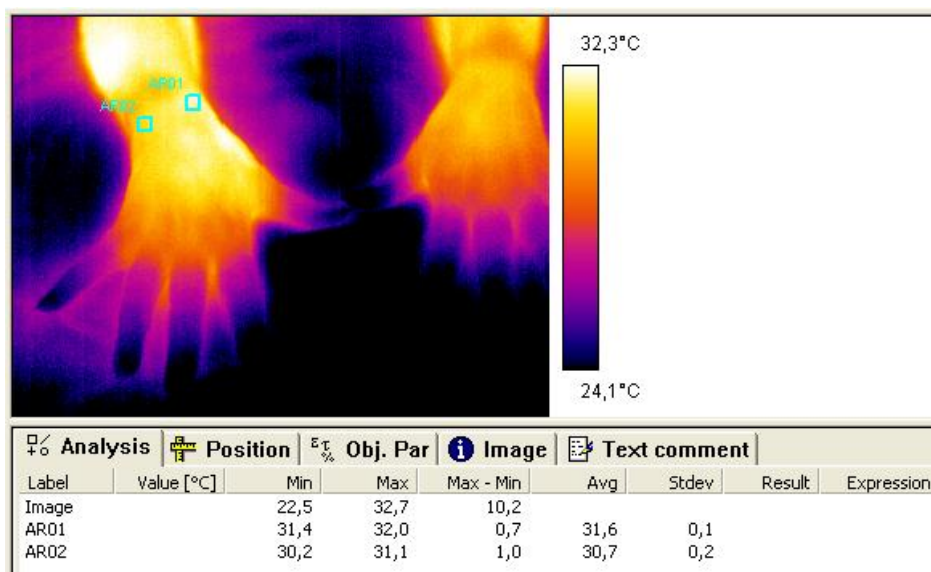
Při zaostřování byla použita paleta GREY, kdy škálování teploty bylo v odstínech šedé a nejvyšší teplota byla reprezentována bílou barvou. Končetiny byly zabírány pokud možno tak, aby snímané části těla byly v kolmém průmětu s objektivem kamery a aby obraz zaplňoval co největší plochu displeje.

## 2 Výsledky

První způsob vyhodnocení snímků spočíval v porovnání fotografií a termogramů. Pomocí fotografií pacientů určil lékař, na kterých místech postižených končetin je vidět otok nebo jiný projev revmatoidní artritidy. Tyto snímky byly pak porovnány s termogramy, které byly upraveny v programu FLIR ThermaCAM™Researcher 2.8. Pro lepší vizualizaci termogramů byla upravena paleta barev, která reprezentuje rozložení teplot v obrázku. Byla použita paleta IRON. V místech, které určil lékař je vidět oblast s vyšší teplotou, než je teplota okolní tkáně. Záznam jednoho měření je na Obr. 1, kde je vidět souvislost mezi postižením končetiny artritidou a zvýšenou teplotou.

Naměřená data z jednotlivých pacientů jsou statisticky zpracována, aby byla ověřena hypotéza, že oblasti postižené revmatoidní artritidou mají signifikantně vyšší teplotu oproti místům, které nejsou postiženy.

Z každého termogramu byly vybrány lékařem oblasti zájmu, které představovaly postižené oblasti. Pro každého pacienta tak byla vybrána oblast dat 8 x 8 mm v oblasti zájmu viz Obr. 1. Zároveň byla na termogramu zvolena tzv. referentní oblast, která byla co nejbližší postižené oblasti avšak stále v místě, které nebylo artritidou zasažené.



Obr. 1: Vybrané oblasti a data

Pro každý termogram tak byly získány ze dvou oblastí (postižená a referentní) dvě sady teplot. Pro každého pacienta tak byla spočítána střední teplota pro obě oblasti. Z těchto teplot byl spočten rozdíl středních teplot. Pro tento rozdíl byl spočítána opět střední hodnota a její směrodatná odchylka. Všechny hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1.

Protože byla proti sobě porovnávána data vždy ze stejného pacienta byl k vyhodnocení zvolen párový test. Vzhledem k dostatečnému počtu měření (20) byl k vyhodnocení zvolen studentův t-test [2]. U pacientů, kteří měli RA na pravé i levé končetině byla vybrána oblast zájmu z obou končetin. Na první pohled je vidět, že rozdíl hodnot ( $\mu$ ) je kladný a zdá se, že termokamera zachytí teplotní rozdíl, který odpovídá postižení oblasti zájmu RA. V první fázi vyhodnocení byla řešena otázka, zda se statisticky liší data naměřená v oblasti zánětu a v oblasti mimo něj. Proto byl nejprve zvolen oboustranný studentův t-test s hypotézou:

$$H_0: \mu = 0 \quad H_1: \mu \neq 0.$$

Podle rovnice (1) je spočítána hodnota oboustranného párového studentova t-testu pro naměřenou množinu teplot:

$$T = \frac{d - 0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}, \quad (1)$$

kde  $d$  je střední hodnota z rozdílů teplot,  $s$  je směrodatná odchylka z rozdílu teplot a  $n$  je počet provedených měření zahrnutých do statistického vyhodnocení. Výsledná hodnota provedeného testu je  $T = 11,09$ . Tabulková hodnota pro 19 stupňů volnosti je  $T_{0,001} = 3,883$ . Z výsledků je zřejmé, že nulová hypotéza neplatí a teploty ve zpracovávaných oblastech se statisticky významně liší a to s pravděpodobností větší než 99,9 %.

Po tomto potvrzení byl proveden další test, který byl opět párový studentův t-test, jenž byl však tentokrát jednostranný. Testována byla hypotéza, že se teploty v porovnávaných oblastech liší o více než 1 °C. Vyslovena byla proto hypotéza, že rozdíl středních teplot porovnávaných oblastí je větší než jedna:

$$H_0: \mu > 1 \quad H_1: \mu < 1.$$

Zpracováván byl stejný soubor naměřených dat, tentokrát podle vztahu (2):

$$T = \frac{d - 1}{\frac{s}{\sqrt{n}}}, \quad (2)$$

kde  $d$  je střední hodnota z rozdílů teplot,  $s$  je směrodatná odchylka z rozdílů teplot a  $n$  je počet provedených měření zahrnutých do statistického vyhodnocení. Pro  $n = 20$  je tabulková hodnota jednostranného párového studentova  $t$ -testu  $T_{0,025} = 2,093$ . Výpočtem získaná hodnota je  $T = 2,35805$ . Výpočet prokázala pravdivost hypotézy  $H_0$ . Je možné konstatovat, že teplotní rozdíl mezi zdravou a postiženou oblastí je větší než  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0,025$ ).

Tab. 1: Teploty z naměřených termogramů zpracovaných počítačovým programem ( $n$ : pořadové číslo,  $N$ : postižená oblast,  $Z$ : referentní oblast,  $N-Z$ : rozdíl teplot,  $d$ : střední hodnota rozdílu,  $s$ : směrodatná odchylka.).

n	N	Z	N-Z
	t (°C)	t (°C)	$\mu$ (°C)
1	31,6	30,7	0,9
2	32,3	30,4	1,9
3	34,6	34	0,6
4	33,6	32,4	1,2
5	33,7	32,6	1,1
6	33,2	31,6	1,6
7	33	31,7	1,3
8	32,3	31,1	1,2
9	32,3	30,5	1,8
10	32,4	31,1	1,3
11	33,4	31,7	1,7
12	33,2	32,7	0,5
13	33,1	32,8	0,3
14	27,8	25,4	2,4
15	32,6	31,1	1,5
16	32,8	31,3	1,5
17	32,9	31,9	1
18	34,6	33,7	0,9
19	33,5	31,8	1,7
20	34,4	33,4	1
		<b>d</b>	1,27
		<b>s</b>	0,51206

## Závěr

V rámci první fáze studie využití termokamery pro diagnostiku byl změřen soubor pacientů trpících revmatoidní artritidou, u kterých byla diagnóza potvrzena lékařem. Díky ochotě lékařů z Revmatologického ústavu tak vznikl soubor termogramů pacientů s diagnostikovanou RA.

Statistické zpracování naměřených termogramů ukázalo, že pomocí termokamery lze naměřit ohniska postižení snímaných částí. Postižení revmatoidní artritidou je doprovázeno zánětem, který se projevuje zvýšenou teplotou v zasažených oblastech. Data byla zpracována párovým studentovým t-testem.

V první fázi se potvrdila hypotéza, že existuje rozdíl mezi daty naměřenými v zasažené a referenční oblasti. V druhé části statistického zpracování byla potvrzena hypotéza, že teplotní rozdíl mezi oběma oblastmi je větší než 1 °C.

## **Diskuze**

Výsledky měření prokázaly, že termovize spolehlivě odhalí místa se zvýšenou teplotou v místech zánětlivého onemocnění. Vyšetření termokamerou se jeví jako užitečná diagnostická metoda, která může přispět k včasnému odhalení počínající revmatoidní artritidy a tím přispět ke zkvalitnění života postižených pacientů. Při brzké indikaci je možné včas zahájit léčbu a zamezit trvalým následkům, které mohou u pacienta s revmatoidní artritidou vzniknout.

## **Literatura**

- [1] ThermaCam – příručka uživatele, 2004, 124 s.
- [2] Zvárová J., Základy statistiky pro biomedicínské obory, Karolinum, (2004), 218 s. ISBN 80-7184-786-0

---

Zuzana Horáková  
Nám. Sítná 3105, Kladno, 272 01  
e-mail: [zuzana.horakova@fbmi.cvut.cz](mailto:zuzana.horakova@fbmi.cvut.cz)  
tel.: 312 608 274