

Infrarood videothermografie

Diagnosticum bij Chronische pijn.

Inleiding/historie

Videothermografie is een methode, die oorspronkelijk voor militaire doeleinden is ontwikkeld. De zware camera van Philips in de thermograaf-uitvoering van 1980 werd betrokken van Bofors.

In de jaren 60 verschenen voor het eerst camera's met beeldverwerkingsunits voor medische toepassingen. In 1966 presenteerde de radioloog Aarts een aanvankelijk hoopvol lijkend onderzoek naar het opsporen van borst-kanker met videothermografie. Rond 1980 hadden alle grote elektronicafabrikanten een thermograaf voor medisch gebruik. Naar huidige maatstaven was de apparatuur zwaar en complex.

De sensoren moesten met vloeibare stikstof (later ook met argon) worden gekoeld. Inmiddels bleek, dat de specificiteit van de apparatuur onvoldoende was toegesneden op standaard borstonderzoek.

Fabrikanten gingen op zoek naar andere toepassingsgebieden. De bestaande thermografieapparatuur moest tussen de 150 000 en 300 000 gulden opbrengen.

Videothermografie en pijn

Sinds 1975 hield een huisarts in de marineplaats Den Helder zich bezig met chronische pijn. Hij merkte, dat het een veel voorkomende aandoening was, waarmee de medici eigenlijk geen kant op konden. Een aandoening, die zorgde voor hoge kosten in de gezondheidszorg, grote uitval wegens ziekte bij bedrijven en grote psychosociale gevolgen voor patiënten en hun gezinnen.

Toen in Den Helder sprake was van oprichting van een nieuwe Junior Kamer werd in 1982 als installatieproject gekozen voor de oprichting van De Pijnstichting Nederland

Het eerste project was het in kaart brengen van de omvang van chronisch pijnlijden. Het tweede project het opzetten van onderzoek naar de oorzaken van chronische pijn. De huisarts ging er in zijn vrije tijd mee aan de slag.

Op basis van zijn op schrift gestelde visie en de onvermijdelijke toevalsfactor kwam hij terecht bij Philips Medical Systems, die hem voor de voorgenomen onderzoeken een videothermograaf in bruikleen gaf.

Aanvankelijk voor twee weken, later voor drie maanden en uiteindelijk is de thermograaf niet meer teruggehaald. Frequente terugrapportages over de bevindingen stonden daar tegenover.

Het resulteerde in een 4 tal onderzoeken, die tot op de dag van vandaag niet door nieuwere onderzoeken zijn achterhaald. Ondanks toenadering tot wetenschappelijke instituten zijn de onderzoeken nooit gepubliceerd.

Dat is de directe oorzaak voor het ontstaan van de website:

www.chronic-pain-science.nl.

Thermografie als methode

Thermografie omvat alle methoden van warmteregistratie. Een van deze methoden is de non-contactiele infrarood thermografie.

Van contactloze thermografie wordt al jaren gebruik gemaakt voor diagnostiek bij aandoeningen met pijn (1,2).

Daarbij biedt infrarood thermografie de mogelijkheid van waarneming van een groot huidgebied tegelijkertijd (3,4).

Radiculaire prikkeling (5) en dysfunctie van het autonome zenuwstelsel zijn als oorzaken voor verandering van de huidtemperatuur aangegeven.(6).

Sinds 1980 neemt het aantal publicaties over een relatie van huidtemperatuur, thermografie en pijn snel toe. (7).



Infrarood thermografie wordt zelfs als superieur aangegeven boven andere methoden om de temperatuurveranderingen vast te stellen, waarmee chronische pijn vergezeld gaat (8).

Videothermografie technisch (Philips Thermograaf modificatie 1980).

Bij non-contactiele thermografie wordt gebruik gemaakt van een infrarood camera en een beeldverwerkingseenheid. Met behulp van het digitale geheugen kan men een infrarood beeld vastzetten en de gemiddelde temperatuur in een aan te geven gebied laten berekenen.

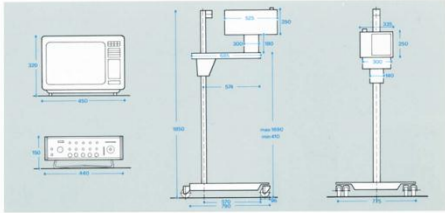

De camera registreert thermische straling met een golflengte tussen 1 en 4 micrometer.

Thermograph


Camera
 Detector: Photovoltaic In Sb liquid-nitrogen cooled
 Thermal differentiation: < 0.08 °C
 Spatial Resolution: < 0.002 rad
 Scan ratio: 1/sec.
 Pan: motorized ± 100°
 Tilt: motorized ± 25°
 Adjustable height: 50 - 180 cm

technical data

Display system
 Memory matrix: 312 x 240 pixels
 Pixel depth: 8 bits (60 grey levels)
 Digitizer depth: 8 bits (for thermal profile)
 Measuring range: 2 - 3 - 4 - 5 - 8 - 10 - 15 °C
 Black level shift: 15 - 40 °C
 Isotherm display: No. 1 blue, No. 2 red
 Isotherm width: 3% of adjusted range

Thermographic index calculation:
 mean temperature above black level (°C)
 Accuracy of absolute temperature display: < 1 °C
 Accuracy of isotherm difference display: < 0.1 °C
 Display monitor: 12 inch, R-G-B interfaced
 Hard copy: SX-70 Polaroid



PHILIPS

Wat meet videothermografie in medische toepassing bij pijn?

Dat golflengtegebied ligt vlak tegen het zichtbare licht spectrum (0.4-0.8 μm) aan. De gemeten straling komt vanuit de huid (4). Men mag daarom een beeld verwachten van warmtebronnen, die in of direct tegen de huid zijn gelegen en daar deel van uitmaken. De arterioveneuze anastomosen in de subcutis voldoen aan deze eis. Capillairen, waarvan met het blote oog wel effect wordt gezien, zijn met deze golflengtes niet detecteerbaar. De minimum meettemperatuur van de thermograaf is instelbaar. Dat wordt het black level genoemd. De meetrange is de meetbreedte in graden Celsius. Het maximum is 14 °C. Bij een black level van 26 °C en een range van 10 ligt het meetbereik tussen 26 en 36 °C.

Een toename van de huiddoorbloeding geeft een toename van de temperatuur van de huid. Een toename van 1% in de temperatuur geeft een toename van 4% in de uitgestraalde energie. Via een gekoelde infraroodgevoelige diode wordt deze energie in verandering van elektrische geleiding omgezet. Via de elektronica van de verwerkingseenheid zet men die verandering om in een beeld op de monitor. Deze methode heeft het voordeel, dat de huid tijdens de onderzoeken niet wordt aangeraakt. Aanraking geeft een verandering van de temperatuur ter plaatse. Bij de te verwachten geringe temperatuurveranderingen in de te onderzoeken huidgebieden vormt huidcontact een onverantwoorde bias bron.

Bij de uitvoering dient men onder gestandaardiseerde omstandigheden te werken, wat betreft omgevingstemperatuur, vochtigheid en ventilatie. De huidtemperatuur verandert onder invloed van verdamping, waarop de relatieve vochtigheid en de stroomsnelheid van de lucht invloed heeft.

Ook dient het effect van kleding zoveel mogelijk te worden geëlimineerd.

Er is daarom een adaptatieperiode van het te meten onbeklede lichaamsdeel noodzakelijk.

In alle onderzoeken is gewerkt met kunstmatige ventilatie bij een omgevingstemperatuur van 21 graden Celsius, na 30 seconden actieve koeling met lucht van 21 graden Celsius en 3 minuten adaptatietijd (9).

Diagnostiek

In 1982 was al bekend, dat videothermografie uitstekend kon voldoen bij het volgen van veranderingen. Een enkelvoudige (statische) opname had het nadeel, dat de waarden niet ten opzichte van een referentietemperatuur of referentiekader konden worden afgezet. Daardoor was kwantificering van een thermografisch beeld moeilijk zo niet onmogelijk.

Diagnostiek op basis van een enkele opname was daardoor een uiterst moeizaam proces. Tot op de dag van vandaag is dat in de instellingen, waar videothermografie een reveil doormaakt (o.a. Erasmus MC te Rotterdam) nog steeds een probleem.

In den Helder bestond daar in 1988 al een oplossing voor, die nog steeds voldoet, maar door medici niet wordt begrepen.

In het onderzoek van 1988, dat nu opnieuw voor publicatie klaar wordt gemaakt, is voor de kwantificering van de meetresultaten gebruik gemaakt van deze techniek.

Het gemis aan referentiekader werd en wordt goed gemaakt door de gezonde zijde van het lichaam daarvoor te gebruiken.

Het volgende voorbeeld: opgenomen met moderne apparatuur en bewerkt met moderne software is daar illustratief voor: Fig.1.

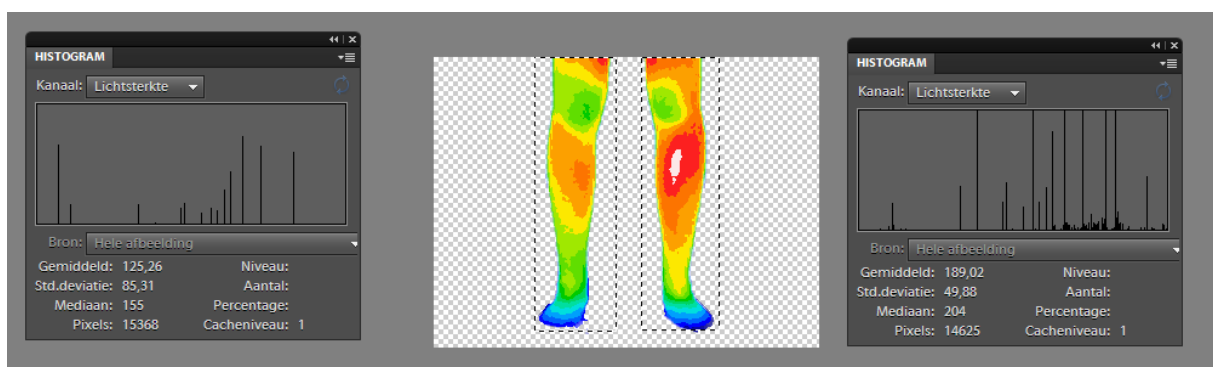
In fig.1. zijn twee benen te zien met een kleurverdeling. Die kleurverdeling geeft de temperatuurverdeling weer. Blauw is koud, hoe donkerder hoe kouder.

Rood is warm en wit is het warmst.

Op het oog is er duidelijk een temperatuurverschil te zien tussen links en rechts. Of dat normaal of niet normaal is, is nauwelijks uit te maken. Er is een grote variatie tussen mensen onderling en de instellingen op de camera kunnen wisselen.

Fig.1.

Gemiddelde van het rechter been is 125.26 Gemiddelde van het linker been 189.02



Ook de beeldomvang kan wisselen. Wil men links met rechts vergelijken, dan moeten de beelden ook ongeveer even groot zijn. Dat zie je niet op het oog.

Maar daar schiet de software te hulp: het histogram.

Het histogram is een statistische weergave van het beeld.

Een beeld is net als bij een gewone foto opgebouwd uit beeldpunten (pixels). Voor het rechter been zijn dat er in deze situatie 15368. Voor het linker been zijn dat er 14625. Er is een verschil van 743 pixels. Dat is ongeveer 5% van het totale beeld.

Elk pixel kan een waarde hebben van 0 (helemaal zwart) tot 254 (helemaal wit).

Hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de waarde van het pixel. Wit is de ingestelde maximum meettemperatuur en zwart de minimum meettemperatuur.

Bij de Philips Thermograaf van 1980 was zwart de achtergrond temperatuur.

Als de pixelwaarden van het gehele beeld sterk uit elkaar liggen kan een verschil van 5% een invloed hebben op de gemiddelde waarde van het beeld, bijvoorbeeld als het weggevallen stuk erg laag in temperatuur zou zijn of erg hoog.

De kans daarop wordt weergegeven door de standaard deviatie.: hoe lager het getal , hoe gelijkmatiger de verdeling van de pixelwaarden. Hoe hoger, hoe groter het spreidingsgebied van de waarden, dus hoe hoger ook de kans is, dat een afwijkend gebiedje wordt gemist.

De standaarddeviatie is bij het rechter been bijna twee keer zo hoog als bij het linker been. De kans van een gemist gebied met sterk afwijkende waarden is bij het linker been dus kleiner dan bij het rechter been. Maar de impact kan dan wel groter zijn.

De mediaan (Dit is de middelste waarde in het bereik van intensiteitswaarden. Een zwart beeld heeft een mediaan van nul en een wit beeld een mediaan van 254) ligt 50 punten hoger bij het linker been, dan het rechter been, hetgeen betekent, dat een aantal lagere waarden, die aanwezig zijn in het rechter been ontbreken aan de linker kant.

De gemiddelde waarde van de pixels ligt links 1.5 keer zo hoog als rechts. Dat betekent, dat ook de gemiddelde temperatuur links hoger ligt dan rechts. Dus de voorlopige conclusie kan zijn: het linker been is te warm ofwel het rechter been is te koud.

Aan welk been het probleem zit, wordt doorgaans bepaald door de patiënt, die kan aangeven welk been pijnlijk is. Bij pijn aan het rechter been is er sprake van "koude" pijn. Bij het linker van "warme" pijn. Het spreekt vanzelf, dat de behandeling van "warme" pijn doorgaans een andere moet zijn dan die van "koude" pijn.

Therapieprobleem

Maar er zijn uitzonderingen: Stel, een patiënt heeft een litteken aan het rechter been, die net geen klachten geeft. Er komt een ontsteking bij aan het linker been: Er ontstaan klachten aan het rechter been.

Door de ontsteking links zakt de balans, die al wat uit evenwicht was, verder. Het verschil tussen links en rechts neemt toe. Rechts kunnen dan de eerste klachten ontstaan. Behandeling van rechts, bijvoorbeeld met doorbloedingsverbeteraars kunnen dan de aandoening links verergeren.

In de praktijk hangt de weegschaal uit balans. Bij alleen een verstoring van het meet en regelsysteem daalt bij correctie de temperatuur links en stijgt de temperatuur rechts.

Is er meer aan de hand, dan kan het gebeuren, dat er bij toediening van een vaatverwijdend medicijn de temperatuur aan de linker zijde meer stijgt dan die aan de rechter zijde. Weliswaar neemt de doorbloeding dan ook rechts toe, maar het verschil met links neemt ook toe. De balans gaat dan verder uit het lood.

Bespreking voorbeeld fig.1.1

In het beschreven voorbeeld zou zo'n situatie aan de hand kunnen zijn.

Echter, deze patiënt wordt al behandeld en dat effect is eerder aan de behandeling toe te schrijven.

De lage standaarddeviatie links wijst op een gelijkmatige temperatuurverdeling. De hoge mediaan op een grote mate van doorbloeding. De hoge gemiddelde waarde eveneens. De hogere standaarddeviatie rechts wijst op een ongelijkmatige verdeling van de circulatie. De gemiddelde waarde op een compensatoir effect.

Er is uitgegaan van een vergelijking van links met rechts.

Maar er ontbreken links wel een aantal pixels aan het beeld. Hoe erg is dat voor het resultaat?

De kans, dat er in een gelijkmatig opgebouwd beeld een gebied ontbreekt, dat erg afwijkend is lijkt niet groot. (Maar als het optreedt kan de impact wel groot zijn. In een herbewerking van het onderzoek van 1988 wordt dat ook duidelijk.) In dit voorbeeld betekent dat in het slechtste geval het missen van 743 pixels met een waarde van 0. Dat levert een gemiddelde (pixelwaarde) op, dat 9% afwijkt van het hier gemeten gemiddelde (pixelwaarde).

Gezien de grote verschillen tussen links en rechts zal dat geen effect hebben op het eindresultaat:

Als rekenvoorbeeld: in het slechtste geval zijn alle ontbrekende pixels zwart en hebben een waarde van "0". De gemiddelde waarde wordt dan $(14625 \cdot 180.02 + 743 \cdot "0") / 15368 = 171.31$.

In het slechtste (onwaarschijnlijke geval) geval daalt het gemiddelde 9% in waarde. De impact is maximaal 9%.

In de situatie, dat er aan de koude zijde een gebiedje van 743 pixels zou ontbreken is de maximale impact slechts 0.5% als dat een warm gebiedje zou zijn en 2% bij een koud gebiedje. Maar de kans, dat het zal optreden is groter wegens de grote spreiding van waarden.

Uit de beschrijving wordt duidelijk, dat een kwantitatieve analyse van het thermografisch beeld niet gemist kan worden.

Het enige, dat voor de kwantitatieve analyse nodig is, is de realisering, dat bij videothermografie niet alleen een omzetting plaats vindt van lichtgolflengten in bijbehorende temperatuurwaarden, maar ook een omzetting in pixels en pixelwaarden voor de visualisering van de onzichtbare licht-golflengten.

Deze drie parameters (golflengte, temperatuur en pixelwaarde) horen onverbrekelijk bij elkaar en maken kwantificering van een thermografisch beeld mogelijk.

In de medische praktijk, waar videothermografie wordt toegepast, vindt de omzetting naar pixelwaarden echter niet plaats.

Het is een van de redenen, waarom wereldwijd bij CRPS (Complex Regionaal Pijn Syndroom) nog steeds de "fingertip" meetmethode wordt toegepast. Dat geeft de maximum meetbare temperatuur weer op vaste punten. Dat maximum is de maximaal instelbare temperatuur op de apparatuur en daarmee afleesbaar.

Dat beperkt de waarneming van pijngebieden in hoge mate.

Wordt de "pixelmethode" toegepast, dan blijkt, dat de meeste plaatsen van chronische pijn verlaagd zijn in temperatuur ten opzicht van de gezonde zijde. Dat is conform met

de bevindingen van Baumann in 1954.

In 1988 is ook een te meten correlatie tussen videothermografisch beeld en pijnvaring gemeten.

Bij onderzoek naar CRPS(Complex regionaal Pijn Syndroom) is in 2004 eveneens een relatie aangetoond tussen het thermografisch beeld en de VAS (Visuele Analoog Schaal)(10)

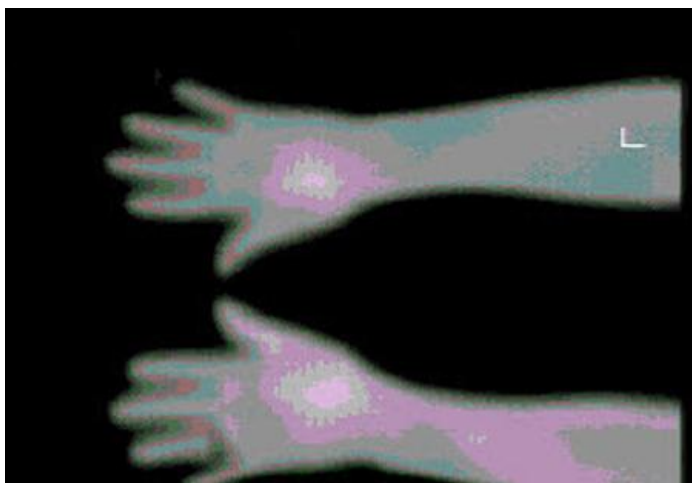
Bij kwantificering van het thermografisch beeld is videothermografie een nuttige toevoeging aan het diagnostisch arsenaal.

Zonder kwantificering kan beoordeling een hachelijke aangelegenheid zijn. Fig.2.

Fig.2.



In 1988 werden voor de bewerking de analoge beelden van de thermograaf via een digitizer vastgelegd op Atari media in het atari neochrome format.



De achtergrond was zwart. Deze pixels hadden de waarde nul. In tegenstelling tot de moderne beelden hierboven, waarbij de zwarte pixels als het ware weg gefilterd kunnen worden, drukken in de oude situatie deze waarden in aanzienlijke mate het gemiddelde, zodat niet duidelijk was of de visueel waargenomen verschillen ook statistisch betrouwbaar in maat en getal konden worden uitgedrukt. Om dat probleem te omzeilen werden in 1988 van de pijnlijke

plaatsen gebieden met vaste lengte en breedte als het ware uit het beeld "uitgeponst" en verwerkt.

Bij controle in 2011 werden de zwarte pixels teruggebracht tot de waarde "NULL". Voor de statistische berekeningen "bestaan" ze dan niet. De berekening gaat dan alleen over de pixels, die een waarde hebben groter dan nul. Het meetbeeld zelf dus.

De resultaten blijken hetzelfde als in 1988.

Mei 2012

P.H.E. van der Veen.

Literatuur

1. Mumford JM, Miles JB. Thermography and orofacial pain. *Acta Thermografica* 1977; 2: 155-161.
2. Mumford JM. Thermography and ice cream headache. *Acta Thermografica* 1977; 4: 33-37.
3. Steketee J. Thermografie. *TGO. Tijdschr. Geneesm. Ond.* 1979;2: 2-8.
4. Tebra W. 1984; Thermografie met digitale beeldverwerking. *Polytechnisch Tijdschrift/ Elektrotechniek/ Elektronica*. 1981; 36: 152-158.
5. Newman RI, Seres JL, Miller EB. Liquid crystal thermography in the evaluation of chronic back pain: a comparative study. *Pain* 1984; 20: 293-305.
6. Uematsu S, Hendler N, Hungerford D, et al. Thermography and elektromyography in the differential diagnosis of chronic pain syndromes and reflex sympathetic dystrophy. *Electromyogr. clin. Neurophysiol.* 1981; 21:165-182
7. Hooshang Hooshmand, *Chronic Pain, reflex sympathetic dystrophy*, CRC Press, 1993, p.169-187.
8. Hooshang Hooshmand, *Chronic Pain, reflex sympathetic dystrophy*, CRC Press, 1993, p.11-16.
9. Schubert R, Haute JVD, Hassenburger J, Beller FK. Directed dynamic cooling: a methodic contribution in telethermography. *Acta Thermografica*. 1977; 2: 94-99
10. Huygen FJPM. Proefschrift. *Neuroimmune Alterations in de Complex Regional Pain Syndrome*. Computer assisted skin videothermography is a highly sensitive tool in the diagnosis and monitoring of complex regional Pain Syndrome type I. *Eur. Journ. of Appl. Phys.* 2004;11:42