



De genezing van brandwonden beoordelen met thermografie - een betrouwbare en valide methode

M.E.H. Jaspers, A. de Vries, P.P.M. van Zuijlen*

Casus

Op het brandwondencentrum in Beverwijk zagen wij een 39-jarige patiënte met brandwonden in het gelaat, ter plaatse van de hals en aan de voorzijde van de thorax, ten gevolge van een steekvlam. Op het moment van de steekvlam had patiënte een synthetische sjaal om die gemakkelijk vlamvatte. De sjaal kon snel worden afgedaan waarna de brandwonden twintig minuten adequaat onder de douche zijn gekoeld. Bij binnenkomst op het brandwondencentrum werd vastgesteld dat 6,5% van het lichaamsoppervlak verbrand was. Met name aan de voorzijde van de thorax en laterale zijden van de hals was de brandwond bleek en mottig, wat kan duiden op een diepere brandwond. De overige brandwonden toonden een glanzend roze aspect met goede capillaire refill, duidend op een meer oppervlakkige brandwond (foto 1). Echter, de beoordeling van brandwonden is lastig, zeker wanneer het een mengverbranding betreft zoals in deze casus.



Foto 1. Brandwond kort na de steekvlam.

Achtergrond

Op dit moment is klinische evaluatie nog steeds de meest gebruikte methode voor de beoordeling van brandwonden (1, 2). Deze methode is gebaseerd op subjectieve beoordeling, aan de hand van visuele en palpabele kenmerken, zoals de kleur en soepelheid van de wond, aan- of afwezigheid van blaren, de capillaire refill en algemene pijnbeleving. Echter, eerdere studies hebben aangetoond dat de accuratesse van klinische evaluatie beperkt is, variërend van 50-70% (3-6). Niet alleen de variatie tussen de verschillende artsen (met uiteenlopende ervaring) lijkt hierin een rol te spelen, ook de mate van weefselschade is kort na het

ongeval lastig te beoordelen (7). Objectieve meetapparaten, die vroegtijdig en op een betrouwbare manier brandwonden beoordelen, kunnen daarom van waarde zijn.

Er zijn verschillende objectieve meetapparaten beschikbaar voor de beoordeling van brandwonden. De meeste apparaten meten de (oppervlakkige) doorbloeding, omdat de mate van genezing van een brandwond sterk gecorreleerd is met de mate van doorbloeding van de resterende dermis (8). Laser Doppler imaging (LDI) is de meettechniek die wereldwijd het meest in brandwondencentra wordt gebruikt (6,9). Met behulp van een zwakke laserstraal wordt het aantal bewegende rode bloedcellen in de brandwond gemeten. Dit vormt een maat voor de uiteindelijke genezingstendens van de brandwond: hoe meer rode bloedcellen gedetecteerd worden, hoe sneller de brandwond geneest. Aan de hand van deze genezingstendens kan besloten worden om de brandwond vanzelf te laten genezen of juist tot operatieve behandeling (met bijvoorbeeld een huidtransplantaat) over te gaan. Ondanks dat LDI een accurate techniek is, zijn er ook nadelen aan het gebruik van dit meetapparaat. Het is een groot apparaat, waardoor het niet altijd makkelijk toepasbaar is in de dagelijkse zorg van patiënten met brandwonden. Bovendien moet je getraind worden om het apparaat te kunnen gebruiken en de beelden te kunnen interpreteren. Daarnaast is het een duur apparaat, waardoor de inzetbaarheid wordt beperkt tot een brandwondencentrum. Vanwege deze nadelen zijn we op zoek gegaan naar een techniek die eventueel de LDI zou kunnen vervangen.

Thermografie

Thermografie is een al lang bestaande techniek, waarbij de temperatuur van de huid wordt gemeten. De hypothese is dat deze temperatuur een weerspiegeling vormt van de hoeveelheid resterende doorbloeding in de brandwond. Vervolgens wordt de temperatuur van de brandwond vergeleken met de temperatuur van een stuk gezonde/omliggende huid. Diepe brandwonden lijken kouder te zijn dan de omliggende huid, omdat de doorbloeding is aangedaan. Oppervlakkige brandwonden zijn juist warmer. Dit komt doordat deze grotendeels een intacte doorbloeding hebben, die meer aan de oppervlakte komt te liggen doordat het epitheel is aangedaan. Daarnaast is vaak sprake van inflammatie en oedeemvorming.

Op het brandwondencentrum in Beverwijk zijn twee klinische studies uitgevoerd waarin verschillende temperatuurcamera's zijn getest: de Xenics thermografiecamera en de FLIR ONE. Het voordeel van deze camera's is dat ze klein, handzaam en betaalbaar (circa € 250) zijn. Bovendien zijn de metingen gemakkelijk uit te voeren, zonder training. Voor de resultaten van de studie met de Xenics thermografiecamera verwijzen we graag naar een eerdere publicatie (10). Hierna zullen we verder ingaan op de FLIR ONE.

De FLIR ONE thermografie camera

Vorig jaar is de FLIR ONE thermografiecamera op de markt gekomen (FLIR® Systems, Inc., Wilsonville, OR, USA). Deze camera bevat twee lenzen, een infrarood sensor en een gewone fotocamera (foto 2). Beide beelden worden tegelijkertijd verkregen. De camera kan worden aangesloten op zowel iOS als Android tablets of smartphones. Er is een bijbehorende FLIR-applicatie beschikbaar, waardoor de foto's direct na opname geanalyseerd kunnen worden. In deze applicatie is het mogelijk om de temperatuurfoto te bekijken en daarnaast is ook de gewone foto beschikbaar ter referentie (foto 3). Technologie zoals de FLIR ONE

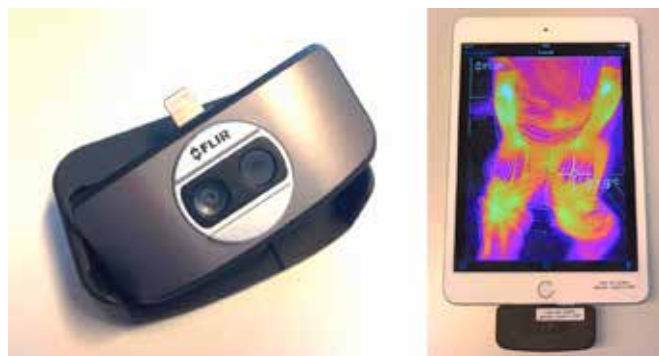


Foto 2. Links: de thermografiecamera met de twee lenzen zichtbaar: een infrarood sensor en een gewone fotocamera. Rechts: de meetopstelling met de FLIR ONE aan een tablet gekoppeld.

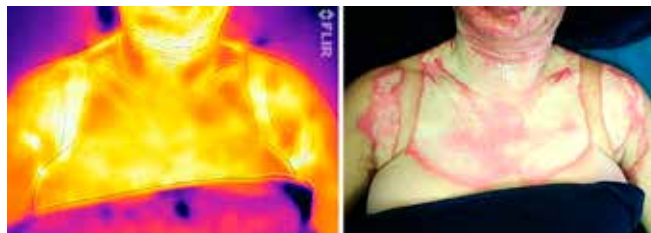


Foto 3. Links de thermografie-opname en rechts de bijbehorende gewone foto. In de FLIR ONE applicatie zijn deze twee beelden met behulp van de 'overlap' functie over elkaar heen te leggen. Zo kan gemakkelijk achterhaald worden welk deel van de thermografieopname met de brandwond overeenkomt.

wordt steeds belangrijker in de gezondheidszorg omdat het als rendabel, veelzijdig en daardoor breed toepasbaar wordt beschouwd. Daarom zou deze thermografiecamera een waardevol meetinstrument kunnen zijn om artsen te helpen bij de beoordeling van brandwonden. Bovendien is het mogelijk om de camera ook buiten het brandwondencentrum in te zetten, bijvoorbeeld in de huisartsenpraktijk of op de spoedeisende hulp, waar patiënten vaak primair hun brandwondenzorg krijgen.

Meetapparatuur testen: betrouwbaarheid en validiteit

Voordat een nieuw meetinstrument in de klinische praktijk wordt geïmplementeerd, is het belangrijk om de klinimetrische eigenschappen (betrouwbaarheid en validiteit) te testen (11). Betrouwbaarheid is een belangrijke eigenschap omdat het ons iets vertelt over het vermogen van het instrument om bij herhaalde metingen, eventueel door verschillende personen, dezelfde uitslag te geven. Validiteit wordt als volgt gedefinieerd: de mate waarin het instrument meet wat het daadwerkelijk moet meten (12). Oftewel, zijn de resultaten van het meetinstrument een juiste reflectie van de werkelijkheid. Hierbij hanteren we de 'gouden standaard' als beste maat voor de werkelijkheid. In onze studie was de gouden standaard de uiteindelijke genezingstijd van de brandwond. Het doel van onze studie was het testen van de betrouwbaarheid en validiteit van de thermografiecamera voor het beoordelen van de diepte van brandwonden, uitgedrukt in genezingstijd.

Resultaten

In totaal zijn er vijftig brandwonden van 41 verschillende patiënten gemeten. Het gemiddelde verbrande lichaamsoppervlak was 3,5% (SD 5.3). De gemiddelde leeftijd van de patiënten was 41 jaar (range 18-87). De brandwonden waren ontstaan door heet water (13/41), een vlam (10/41), hete olie (8/41), contact met een heet object (8/41) of door een chemische oplossing (2/41).

De betrouwbaarheid van de thermograficamera werd berekend met behulp van de intraclass correlatiecoëfficiënt (ICC). Dit is een maat om de correlatie (overeenkomst) tussen twee metingen te bepalen. De correlatie betreft een getal tussen de 0 en 1, waarbij 1 de maximale correlatie weergeeft. In onze studie was de ICC 0,99. Daarnaast hebben we ook de meetfout van de thermograficamera berekend. Dit is een getal dat de absolute variatie tussen twee metingen laat zien. De meetfout was gemiddeld 0,20°C. Dit betekent dat wanneer herhaaldelijke metingen worden uitgevoerd van dezelfde brandwond, het resultaat 0,20°C hoger of lager kan liggen.

De validiteit werd vastgesteld door de temperaturen binnen verschillende genezingscategorieën (de gouden standaard) met elkaar te vergelijken. Deze categorieën zijn: genezing binnen 14 dagen, tussen de 15 en 21 dagen, en langer dan 21 dagen. Zoals eerder beschreven werd de temperatuur van de brandwond vergeleken met de temperatuur van gezonde huid, dit getal noemen we ΔT . We vonden voor de oppervlakkige brandwonden (genezing binnen 14 dagen) een positieve ΔT van gemiddeld 0,59°C. Deze brandwonden zijn dus warmer dan gezonde huid. De diepe brandwonden (genezing langer dan 21 dagen) hebben duidelijk een negatieve ΔT , gemiddeld -1,10°C. Deze brandwonden zijn dus kouder dan de gezonde huid. De brandwonden die hier tussenin vallen (genezing 15 tot 21 dagen), hebben een ΔT van 0,10°C. Om hier een statistische toets aan te verbinden hebben we een ROC-curve gemaakt. Dit is een curve dat het onderscheid aantoonst tussen twee genezingscategorieën. We hebben gekozen om alle brandwonden die binnen 21 dagen genezen samen te voegen en deze te vergelijken met de

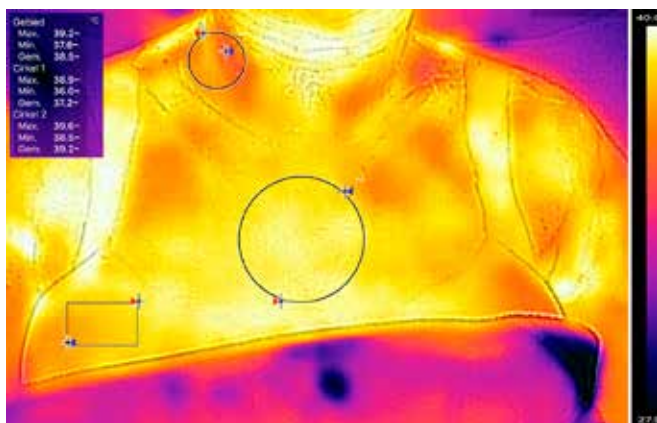


Foto 4. Thermografie-opname op dag vier na verbranding, met de gemiddelde temperaturen in drie verschillende zones. De rechthoek op de rechterborst weerspiegelt gezonde huid (38,5°C), de grote ronde cirkel ter plaatse van het sternum een meer oppervlakkige brandwond (39,2°C), en de kleine cirkel rechts in de nek is klinisch een diepere brandwond (37,2°C).



Foto 5. Dag 12 na verbranding. Links: met name aan de rechterzijde van de hals is nog een witte wond te zien, en ter plaatse van de linkerzijde van de axilla. De overige lichtroze gebieden zijn genezen. Rechts: resterende brandwond ter plaatse van de rechterzijde van de hals. Er zijn huideilanden zichtbaar waardoor de kans groot is dat de brandwond spontaan zal genezen.

brandwonden die langer dan 21 dagen erover doen om te genezen. De achterliggende gedachte hiervan is dat het litteken op de lange termijn van minder goede kwaliteit zal zijn wanneer de brandwond langer dan 21 dagen nodig heeft om te genezen. Deze brandwonden komen daarom in aanmerking voor operatie en dat willen we in een vroeg stadium diagnosticeren zodat we tot chirurgische behandeling (met een huidtransplantaat) over kunnen gaan. De ROC-curve toont ook een getal tussen de 0 en 1, uitgedrukt in 'area under the curve' (AUC), waarbij 1 het maximale onderscheid tussen twee categorieën weergeeft. De AUC was 0,69 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,54-0,84, p-waarde 0,015). Het optimale ΔT afkappunt om tussen de twee genezingscategorieën te differentiëren was -1,15°C, met een sensitiviteit van 47% en een specificiteit van 82%.

Terug naar de casus

De brandwonden van onze patiënt werden op de vierde dag na verbranding gefotografeerd en gemeten met de thermograficamera (foto 4). Ter plaatse van één van de diepere plekken, zoals in de hals rechts, was de temperatuur 37,2°C. De gezonde huid (op de rechterborst) was 38,5°C, resulterende in een ΔT van -1,3°C. Ter plaatse van de oppervlakkige brandwond, zoals centraal op het sternum, was de temperatuur 39,2°C, resulterende in een ΔT van 0,7°C. Deze ΔT -waarden zouden naar aanleiding van bovengenoemde resultaten impliceren dat een groot deel van de brandwond binnen 14 dagen geneest, maar dat de plekken aan weerszijden van de hals er mogelijk 21 dagen over doen. Patiënt werd een week na de verbranding naar huis ontslagen en op dag 12 teruggezien op de polikliniek (foto 5). Op dat moment was een groot deel van de brandwond genezen, maar er was nog 0,6% lichaamsoppervlak open. Dit betrof de wond rechts in de hals en ter plaatse van de linker axilla. Daarom werd patiënt een week later op dag 19 nogmaals teruggezien (foto 6). Op dat moment was nagenoeg de gehele brandwond genezen.



Foto 6. Dag 19 na verbranding. Nagenoeg volledige genezing van de brandwonden. Zowel de brandwond ter plaatse van de linker axilla als aan de rechterzijde van de hals zijn dicht. Rechts: alleen op de rechterschouder is nog een resterende wond zichtbaar. Deze brandwond zal naar verwachting de komende dagen alsnog spontaan genezen.

Zowel ter plaatste van de linker axilla als rechts in de hals had zich een korst gevormd. Alleen op de rechterschouder was nog een zeer kleine wond zichtbaar. Deze zou naar verwachting in de komende dagen alsnog genezen. Om de eventuele littekenvorming van deze laatst genezen gebieden in de gaten te houden, wordt patiënte nog een keer teruggezien op het littekenspreekuur. De ΔT -waarden van patiënte waren een goede weergave van de uiteindelijke genezing. De warmere gebieden (ΔT 0,7°C) waren grotendeels binnen 14 dagen genezen en de koudere gebieden (ΔT -1,3°C) rond dag 21 na verbranding. Patiënte heeft uiteindelijk geen operatie ondergaan. De thermograficamera liet dus op dag vier na verbranding al een goed beeld zien van de te verwachten genezingstendens.

Conclusie

Concluderend kunnen we stellen dat thermografie een betrouwbare techniek is om de ΔT van brandwonden te bepalen. De validiteit kan echter nog verbeterd worden. Mogelijk wordt de validiteit beïnvloed door de aanwezigheid van topicale middelen en/of door de omgevingstemperatuur (alhoewel deze zo constant mogelijk werd gehouden in de studie). Het zou interessant zijn om een vervolgstudie te doen waarin ook de klinische evaluatie van de brandwond wordt meegenomen in het eindoordeel. De clinicus krijgt in dat geval de thermografiebeelden en de brandwond te zien. De uiteindelijke beoordeling van de brandwond kan vervolgens vergeleken worden met de eerder genoemde LDI als gouden standaard. Ondanks dat het maken van een LDI-scan meer tijd in beslag neemt, heeft LDI de voorkeur boven 'de uiteindelijke genezings-tijd' als gouden standaard, omdat de LDI op dag twee tot vijf na verbranding wordt verricht. De diagnose is dan dus sneller gesteld dan wanneer de brandwond volledig genezen is. De verwachting is dat de validiteit beter wordt door niet alleen de thermografiebeelden te beoordelen maar ook het klinische oordeel mee te nemen. Bovendien

zal dit de manier zijn waarop in de toekomst de thermograficamera mogelijk gebruikt gaat worden.

Literatuur

1. Monstrey S, Hoeksema H, Verbelen J, et al. **Assessment of burn depth and burn wound healing potential.** *Burns* 2008;34:761-9.
2. Heimbach D, Engrav L, Grube B, et al. **Burn depth: a review.** *World J Surg* 1992;16:10-5.
3. Godina M, Derganc M, Brcic A. **The reliability of clinical assessment of the depth of burns.** *Burns* 1977;4:92-96.
4. Heimbach DM, Afromowitz MA, Engrav LH, et al. **Burn depth estimation--man or machine.** *J Trauma* 1984;24:373-8.
5. Droog EJ, Steenberg W, Sjoberg F. **Measurement of depth of burns by laser Doppler perfusion imaging.** *Burns* 2001;27:561-8.
6. Pape SA, Skouras CA, Byrne PO. **An audit of the use of laser Doppler imaging (LDI) in the assessment of burns of intermediate depth.** *Burns* 2001;27:233-9.
7. Jackson DM. **The diagnosis of the depth of burning.** *Br J Surg* 1953;40:588-96.
8. Tyler MP, Watts AM, Perry ME, et al. **Dermal cellular inflammation in burns. an insight into the function of dermal microvascular anatomy.** *Burns* 2001;27:433-8.
9. Hoeksema H, Van de Sijpe K, Tondt T, et al. **Accuracy of early burn depth assessment by laser Doppler imaging on different days post burn.** *Burns* 2009;35:36-45.
10. Jaspers ME, Maltha I, Klaessens JH, et al. **Insights into the use of thermography to assess burn wound healing potential: a reliable and valid technique when compared to laser Doppler imaging.** *J Biomed Opt* 2016;21:96006.
11. De Vet HCW, Terwee CB, Mokkink LB, et al. **Measurement in Medicine. A Practical Guide.** 1st ed. Cambridge: Cambridge Univ Press; 2011.
12. Mokkink LB, Terwee CB, Patrick DL, et al. **The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes.** *J Clin Epidemiol* 2010;63:737-45.

* Drs. M.E.H. Jaspers, arts-onderzoeker, Vereniging Samenwerkende Brandwondencentra Nederland, Brandwondencentrum, Rode Kruis Ziekenhuis, Beverwijk
Dr. A. de Vries, chirurg, chirurgen Noordwest.nl, Rode Kruis Ziekenhuis, Beverwijk
Prof. Dr. P.P.M. van Zijl, plastisch chirurg, Brandwondencentrum en Afdeling plastische, reconstructieve en handchirurgie, Rode Kruis Ziekenhuis, Beverwijk en VUmc, Amsterdam

Conflict of interest

Geen van de auteurs heeft een financieel belang in een van de producten of apparaten die in dit manuscript genoemd worden. Dit onderzoek wordt gefinancierd door de Nederlandse Brandwondenstichting (nummer 13.107).