

**Vermeidung chirurgischer Behandlung durch die Bestrahlung von tiefen  
Hautverbrennungswunden mit polarisiertem Licht**

Koen Depuydt, MB, Henk Hoeksma, Stan Monstrey, MD, PhD,

Koen Van Landuyt, MD, Phillip Blondeel, MD, PhD

Abteilung für plastische Chirurgie, Universitätsklinik Gent, Belgien

Präsentiert auf dem 10. Jahrestreffen der European Association of Plastic  
Surgeons (EURAPS), Madrid, 21. Mai 1999

## **Abstract**

Die Behandlung von tiefen Hautverbrennungen ist nach wie vor ein kontrovers diskutiertes Thema. Selbst erfahrene Chirurgen tun sich oft schwer mit der Beurteilung, ob durch eine frühe Exzision und Hauttransplantation bessere ästhetische und funktionale Ergebnisse erzielt werden können oder ob eine konservative Behandlung vorzuziehen ist, durch die zwar eine chirurgische Behandlung vermieden wird, die jedoch das Risiko von hypertrophen Narben erhöht. In einer vorherigen Studie wurde nachgewiesen, dass polarisiertes Licht eine signifikant positive Wirkung auf die Wundheilung hat und zu einer schnelleren Schließung der Wunde sowie zu einer besseren Narbenqualität führt. Angesichts dieser Ergebnisse wollten wir untersuchen, ob die Phototherapie auch bei der Behandlung von tiefen Hautverbrennungen zweiten Grades eine Rolle spielen kann.

Zweiundzwanzig tiefe Hautverbrennungen, die normalerweise operiert worden wären, die jedoch mit polarisiertem Licht behandelt wurden, wurden ausgewählt und einer aus vier Experten für Verbrennungschirurgie bestehenden Begutachtergruppe vorgestellt.

Die Mitglieder der Begutachtergruppe hätten in durchschnittlich 12,8 Fällen operiert. In 16 Fällen stimmten mindestens 2 der Experten für eine chirurgische Behandlung. Es wurde praktisch keine Übereinstimmung zwischen den Beurteilungen der Beobachter festgestellt. Die geschätzte Heilungsdauer war signifikant länger als die tatsächliche Heilungsdauer. In 15,8 der 22 Fälle wurden hypertrophe Narben vorausgesagt. Hypertrophie trat jedoch nur in einem Fall auf. Die Ergebnisse wurden in 65,3% der Fälle als vergleichbar mit bzw. besser oder deutlich besser als die erwarteten Ergebnisse(n) nach einer chirurgischen Behandlung bewertet. Im Vergleich zu allen anderen konservativen Methoden wurde in 97,6% ein gleiches oder besseres Resultat festgestellt.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass polarisiertes Licht in der Behandlung von tiefen Hautverbrennungswunden sehr nützlich ist. Es beschleunigt die Wundheilung und erzeugt gleichzeitig weniger hypertrophe Narben. In einer Zeit mit verbesserten Wiederbelebungstechniken und fortschrittlichen Verbrennungszentren ist der Mangel an Spenderhaut zu einem großen Problem in der Behandlung von Patienten mit schweren Verbrennungen geworden. Aus den Ergebnissen dieser Studie geht klar hervor, dass das polarisierte Licht eine wertvolle Alternative zur operativen Behandlung von tiefen Hautverbrennungswunden ist, die sogar zu besseren ästhetischen und funktionalen Ergebnissen führt.

## **Einführung**

Die Behandlung von tiefen Hautverbrennungen ist nach wie vor ein sehr kontrovers diskutiertes Thema. Bei vielen Hautverbrennungen gestaltet sich die Diagnose der Verbrennungstiefe schwierig, insbesondere die Unterscheidung zwischen oberflächlichen Verbrennungen zweiten Grades und tiefen Hautverbrennungswunden. Dementsprechend ist auch die Wahl der Behandlungsmethode dieser tiefen Hautwunden oft eine schwierige Entscheidung. Die zentrale Frage lautet, ob durch eine frühe Exzision und Hauttransplantation bessere ästhetische und funktionale Ergebnisse erzielt werden können oder ob eine konservative Behandlung vorzuziehen ist, durch die zwar eine chirurgische Behandlung vermieden wird, die jedoch das Risiko von hypertrophen Narben erhöht.

Polarisiertem Licht wurden biostimulierende Wirkungen auf die Wundheilung zugeschrieben (6-20). In einer früheren in unserer Abteilung durchgeführten prospektiv randomisierten, einfach-blinden Studie wurden zwanzig Paare von identischen Spenderarealen von Spalthauttransplantaten entsprechend dem gleichen Wundbehandlungsprotokoll behandelt. Der einzige Unterschied bestand darin, dass eine Gruppe mit polarisiertem Licht behandelt wurde und die andere nicht. Die Wunden wurden täglich durch zwei unabhängige und blind ausgewählte Begutachter bewertet. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass das polarisierte Licht eine signifikant positive Wirkung auf die Wundheilung hatte und zu einer schnelleren Epithelisierung der Wunde und einer besseren Qualität des Narbengewebes führte (21).

Beeindruckt von diesen Ergebnissen, begannen wir damit, Hautverbrennungswunden mit polarisiertem Licht zu behandeln. Aufgrund des Erfolgs dieser Behandlungsmethode sank die Anzahl der operierten tiefen Hautverbrennungswunden drastisch.

## Materialien und Methoden

Seit 1996 wurden oberflächliche und tiefe Hautverbrennungen und sekundäre Defekte nach vorheriger Transplantation in unserer Abteilung mit polarisiertem Licht behandelt. Dazu wurde eine Lichtquelle mit polarisiertem Licht (Bioptron°, CH-8617 Mönchaltorf, Schweiz) mit den folgenden technischen Eigenschaften verwendet: Wellenlängen 400-2000 nm, Polarisationsgrad über 95%, Leistungsdichte 40 mW/cm<sup>2</sup>, Lichtenergie 2,4 J/cm<sup>2</sup>. Alle Wunden wurden entsprechend einer Routine behandelt: Die Bestrahlung mit polarisiertem Licht erfolgte täglich 6 Minuten lang aus einer Entfernung von 10 cm, daran anschließend wurde Silbersulfadiazin (Flamazine°) auf die Wunde appliziert. Jeden Tag wurden Farbdias aufgenommen. Die Phototherapie wurde nach der vollständigen Verheilung der Wunde beendet. Wie bei allen unseren Patienten wurden unmittelbar nach der Verheilung Kompressionskleidung und Silikon-Gel-Folien verwendet.

Später wurden 22 der schwersten Fälle ausgewählt, bei denen eine Mehrheit in unserer Abteilung normalerweise eine Operation durchgeführt hätte. Diese Patienten wurden aus verschiedenen Gründen nicht operiert: die Notwendigkeit, andere verbrannte Bereiche zuerst zu operieren, ein schlechter Allgemeinzustand oder der Wunsch der Patienten, sich nicht einer chirurgischen Behandlung unterziehen zu müssen. Die durchschnittliche Nachbehandlung lag bei 8,2 Monaten (Wertebereich 5-23).

Vier plastische Chirurgen, allesamt Experten der Verbrennungschirurgie, erklärten sich bereit, diese 22 Fälle zu beurteilen. Sie wurden aufgefordert, 3 Diareihen zu bewerten und einen Fragebogen auszufüllen. Eine *erste* Reihe von 30 Farbdias mit tiefen Hautverbrennungswunden, die aus den 22 ausgewählten Fällen und 8 zusätzlichen Kontrollfällen zur Objektivierung bestand, wurde vorgeführt. Bei jedem Bild wurde die vollständige klinische Anamnese angegeben. Die Experten wurden gefragt, ob bei diesen Wunden eine Indikation zur chirurgischen Behandlung vorliegt bzw. wie lange im Fall einer konservativen Behandlung die Wundverheilung in Anspruch nehmen würde und ob sie hypertrophe Wunden erwarten. In der *zweiten* Diareihe wurden die 22 Fälle erneut vorgeführt, zusammen mit einem Bild exakt zum Zeitpunkt der Wundschließung. Den Experten wurde mitgeteilt, dass die Patienten ohne Operation behandelt worden waren. Sie wurden gefragt, wie lange ihrer Meinung nach die Wundheilung zwischen dem ersten Dia und dem Bild nach der vollständigen Wundschließung in Anspruch genommen hat. In einer *dritten* Reihe wurden die 22 Fälle mit einem nach längerer Zeit aufgenommenen Bild aus der Nachbehandlung vorgeführt. Die Begutachter wurden aufgefordert, zu bewerten, ob das erhaltene Resultat deutlich schlechter, schlechter, vergleichbar, besser oder deutlich besser als das Ergebnis war, das sie nach einer chirurgischen Behandlung auf der einen Seite und einer konventionellen

konservativen Behandlung auf der anderen Seite erwartet hätten. Die Antworten wurden von einem unabhängigen Experten statistisch ausgewertet.

Beispiele werden in den Abbildungen 1-6 dargestellt.

### **Ergebnisse**

Die einzelnen Beobachter hätten in 18, 12, 11 und 10 der 22 Fälle eine Operation vorgenommen (Mittelwert 12,8). In 16 Fällen (73%) entschieden sich mindestens zwei Experten für eine Operation (Tab. 1). Mit Hilfe der Kappa-Analyse wurde praktisch keine Übereinstimmung zwischen den Beobachtern festgestellt.

Der Vergleich zwischen der geschätzten Heilungsdauer und der tatsächlichen Dauer bis zur vollständigen Wundverheilung ergab absolut keine Korrelation (Pearsonscher Korrelationskoeffizient). Im Gegenteil ergab die Analyse mit dem Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben, dass die geschätzte Dauer signifikant länger ( $p < 0,001$ ) als die tatsächliche Heilungsdauer war (Tab. 2).

Die Begutachtergruppe war sehr konsistent in der Beantwortung der Fragen: Es gab eine starke Korrelation ( $p < 0,001$ , Fishersche  $F$ -Verteilung) zwischen der Feststellung einer Indikation zur chirurgischen Behandlung und der Erwartung von hypertrophen Narben nach einer konservativen Behandlung. In unseren klinischen Ergebnissen verzeichneten wir außer bei einem Patienten, der nicht dazu bereit war, Kompressionskleidung zu tragen, keine Hypertrophien. Diese Quote war signifikant niedriger ( $p < 0,001$ ) als die von den Beobachtern vorhergesagten Häufigkeiten (Chi-Quadrat-Test). Die erwarteten Häufigkeiten von hypertrophen Narben in den 22 Fällen betragen 13, 17, 16 und 17 (Mittelwert 15,8).

Die Experten beurteilten in 73,8% der Fälle die klinischen Resultate zumindest als vergleichbar mit den Ergebnissen nach einer chirurgischen Behandlung (Tab. 3). Wenn nur die Fälle berücksichtigt werden, in denen die Indikation einer Operation festgestellt worden war, wurden 65,3% als vergleichbar, besser oder deutlich besser eingestuft. Im Vergleich mit einer standardmäßigen konservativen Behandlung wurden 97,6% der Fälle als zumindest vergleichbar bewertet. In der Hälfte der Fälle wurde bessere Bewertungen vergeben.

Alle Beobachter waren überrascht von der bemerkenswert guten Funktion im Fall von Handverbrennungen.

Während oder nach der Phototherapie wurden kein Funktionsverlust beobachtet.

## Diskussion

Die Behandlung von tiefen Verbrennungen zweiten Grades ist nach wie vor ein kontrovers diskutiertes Thema. Viele Chirurgen befürworten eine frühe Exzision und Hauttransplantation, um das Infektionsrisiko zu reduzieren, die Häufigkeit der Bildung von hypertrophen Narben zu vermindern und die Hospitalisationszeit zu verkürzen. Aus diesem Grund wurde es zunehmend wichtiger, die Verbrennungstiefe so früh wie möglich genau zu bestimmen (1-3). Die klinische Schätzung ist zwar selbst bei erfahrenen Verbrennungsexperten nicht exakt, dennoch ist sie zur gebräuchlichsten momentan verfügbaren Technik zur Bestimmung der Verbrennungstiefe geworden (2,4,5). Als Folge hiervon werden eine Vielzahl von "unbestimmten" Verbrennungswunden zweiten Grades chirurgisch behandelt. Wenn es möglich wäre, alle Verbrennungen zweiten Grades (sowohl oberflächliche als auch tiefe) konservativ zu behandeln, wäre die Notwendigkeit einer genauen Diagnose der Verbrennungstiefe nicht mehr von so großer Bedeutung. Die klinische Einschätzung würde deutlich einfacher, da nur Verbrennungen dritten Grades chirurgisch behandelt werden müssten. Die Reduzierung der Häufigkeit von Hauttransplantationen wäre ein wichtiger Schritt nach vorne, da der Mangel an Spenderhaut in einer Zeit mit verbesserten Wiederbelebungstechniken und fortschrittlichen Verbrennungszentren zu einem großen Problem bei der Behandlung von Patienten mit schweren Verbrennungen geworden ist.

Die Phototherapie ist in vielen Bereichen der Medizin untersucht worden. Mester untersuchte 1968 die Wirkungen von Laserstrahlen auf Zellen, und in seinen Experimenten stellte er fest, dass die Bestrahlung mit energiearmem Laserlicht eine biostimulierende Wirkung hat (6). Um die klinischen Anwendungsmöglichkeiten dieses Phänomens zu bewerten, setzte er Low-Energy-Laser in der Behandlung von refraktären und persistenten Hautgeschwüren und anderen epithelialen Erkrankungen ein (6). In seiner klinischen Studie wies er einen positiven Effekt der Laserbestrahlung nach, die die Wundheilung stimulierte und zu einer schnelleren Schließung der Wunden führte. Diese Behandlung wurde besonders in Fällen von schwer heilenden Wunden empfohlen (7).

In der Literatur gibt es in Bezug auf die positive Wirkung von Laserlicht auf die Wundheilung unterschiedliche Meinungen, und es wurden sogar einander widersprechende Theorien zur Erklärung der biostimulierenden Wirkung dieser Art von Therapie vorgeschlagen (8-11).

Neben der entmutigenden Widersprüchlichkeit der Ergebnisse schränkten mehrere weitere Nachteile die Verwendung der Lasertherapie in der Behandlung von Wunden in einer klinischen Umgebung ein: die hohen Kosten, die erforderlichen Fähigkeiten zur Bedienung des Lasers und der kleine Durchmesser des Laserstrahls, der nur ein kleines Behandlungsareal zulässt.

Laserlicht besitzt die folgenden Eigenschaften: 1. Kohärenz, 2. Monochromasie, 3. variable Leistungsdichten und 4. Polarisierung. Es wurde eine Vielzahl von Untersuchungen angestellt, um festzustellen, welcher dieser Faktoren der wichtigste für die biostimulierende Wirkung ist (6,7,12-14). In-vitro-Studien mit kohärenten Lichtquellen als Stimulans für die Immunaktivität ergaben, dass sich keine signifikante Wirkung auf Leukozyten nachweisen ließ (13). Aus der Tatsache, dass verschiedene Laser mit variierenden monochromatischen Strahlen erfolgreich waren, wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass die Wellenlänge keinen Einfluss auf die Heilwirkung ausübte (6,12). Die Ergebnisse der Bestrahlung durch linear polarisiertes, inkohärentes Licht in immunologischen Tests erwies sich als beinahe genauso effektiv (80%) wie die Ergebnisse, die mit einem He-Ne-Laser erzielt wurden, welcher ebenfalls linear polarisiert war und Strahlen derselben Wellenlänge abgab (13). Die Polarisierung schien also der entscheidende Faktor für die Biostimulation zu sein.

Fenyö und Mitarbeiter entwickelten eine polarisierte Lichtquelle und beobachteten eine ähnliche Stimulation der Wundheilung wie mit einem energiearmen Laser (7). Es stellte sich heraus, dass das polarisierte Licht die zelluläre und humorale Immunität des Organismus auslöste (7). Diese Lichtquelle hatte mehrere Vorteile gegenüber dem Laser: niedrigere Kosten, geringere Risiken, ein größeres Behandlungsareal und keine besonderen Anforderungen an die Fähigkeiten des Benutzers.

In einem hypothetischen physikalischen Modell der Biostimulation wurde die These aufgestellt, dass die Zellmembran der Ort ist, an dem die Stimulation stattfindet (15). Die wichtigsten Untereinheiten der Zellmembran sind die Proteine und die Lipide. Die biologisch aktiven Proteine befinden sich in der lipiden Doppelschicht der Zellmembran. Gemäß dieser Hypothese interagiert das linear polarisierte Licht mit der lipiden Doppelschicht der Zellmembran. Aufgrund dieser Interaktionen können strukturelle Veränderungen auftreten, die der Membran eine neu geordnete Verteilung der Oberflächenspannungen geben und die Lipid-Protein-Verbindungen modifizieren können. Diese Strukturveränderung kann die mit der Zellmembran verknüpften zellulären Prozesse beeinflussen: Energieproduktion, Immunantworten und Enzymreaktionen (15).

In diesem Modell ordnet die elektrische Feldstärke des linear polarisierten Lichts die polaren Köpfe der Lipide neu. Da der Zustand des lipiden Bilayers bei etwa 37°C in der Nähe des Phasenübergangspunkts ist, was ein instabiler Zustand ist, ist es nicht unwahrscheinlich, dass die bei der Neuordnung der Lipide freigesetzte Energie einen Phasenübergang der Zellmembran auslöst.

Die Neuordnung der polaren Köpfe wird daher als analog zur Neuordnung der Flüssigkristalle bei der Bestrahlung mit polarisiertem Licht betrachtet. In diesem Experiment wurde im Vergleich zur Bestrahlung mit diffusem Licht eine signifikante quantitative Erhöhung der negativen Oberflächenspannungen in mit polarisiertem Licht behandelten Kristallen festgestellt (12,15).

Die Ergebnisse von Kubasova et al. schienen diese Hypothese zu bestätigen. Sie beobachteten eine quantitative Erhöhung von negativen Oberflächenspannungen der Zellmembran nach der Bestrahlung von humanen embryonalen Fibroblasten mit polarisiertem Licht. Die Sättigung der biostimulierenden Wirkung wurde bei einer Dosis von  $4 \text{ J/cm}^2$  erreicht (16).

Nach der Bestrahlung von Hühnererythrozyten-DNA und Serumalbumin wurden keine unerwarteten Nebenwirkungen von polarisiertem Licht beobachtet (12). Experimente an Ratten und Kaninchen zeigten keine Toxizität (17).

Im zellulären Abwehrmechanismus wurden nach der Phototherapie viele zytologische Veränderungen beobachtet. Sowohl die Qualität als auch die Quantität der Leukozyten nahmen zu. Es gab eine Intensivierung der Bakterienphagozytose. In den Wundabstrichen tauchten Lymphozyten, Monozyten und eosinophile Zellen auf, die vorher nicht vorhanden waren (12).

Die Bestrahlung ermöglichte ein quantitatives Wachstum von Immunoglobulinen und anderen Proteinen. Je größer die Zunahme von Immunoproteinen in der Wunde war, desto höher war die Heilungsrate (12).

Makrophagen sind Zellen, die für die Wundheilung und die Wiederherstellung der Haut von entscheidender Bedeutung sind. Durch Phagozytose wirken sie beim Débridement von Gewebe mit und setzen chemotaktische Agenzien frei, die Fibroblasten und endotheliale Zellen in den Wundbereich locken. Die Bestrahlung mit polarisiertem Licht hatte die Freisetzung von Wachstumsfaktoren zur Folge, die die Fibroblastproliferation und die Kollagenproduktion stimulierten.

Die ersten klinischen Berichte zur Verwendung von polarisiertem Licht in der Behandlung von Wunden waren sehr vielversprechend (12,19,20). In unserer eigenen Abteilung wurden in einer früheren prospektiv randomisierten, einfach-blinden Studie mit 20 Patienten zwanzig Paare von identischen Spenderarealen von Spalthauttransplantaten entsprechend dem gleichen Wundbehandlungsprotokoll behandelt. Der einzige Unterschied bestand darin, dass eine Gruppe mit polarisiertem Licht behandelt wurde und die andere nicht. Die Wunden wurden täglich durch zwei unabhängige und blind ausgewählte Begutachter bewertet. Die erfassten Parameter waren: der Grad der Epithelisierung, die Qualität des Granulationsgewebes, der Inflammationsgrad, der Infektionsgrad, das Aussehen des frühen Narbengewebes und das subjektive Befinden des Patienten. Jeder Parameter wurde auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet, wobei 1 dem schlechtesten und 5 dem besten Resultat entsprach. Für alle Variablen wurden in den mit polarisiertem Licht behandelten Wunden signifikant deutlich bessere Ergebnisse erzielt. In Bezug auf die Übereinstimmung zwischen den Begutachtern wurden keine signifikanten Abweichungen gefunden. Die Ergebnisse zeigen, dass polarisiertes Licht eine signifikant positive Wirkung auf die Wundheilung hat und eine schnellere Epithelisierung der Wunde sowie eine bessere Qualität



der Narbenbildung bewirkt (21). Aufgrund dieser überzeugenden Resultate haben wir in unserer Abteilung seit über 3 Jahren alle oberflächlichen und tiefen Hautverbrennungen mit Phototherapie behandelt.

Trotz modernster Technologie (Laser-Doppler, Sättigungsmessung, Histopathologie) ist die klinische Observation weiterhin die Standardmethode bei der Diagnose von Verbrennungswunden (2,4). Die Herausforderung besteht darin, diejenigen Verbrennungen zu bestimmen, die innerhalb von drei Wochen verheilen, denn Verbrennungen, deren Verheilung länger als drei Wochen in Anspruch nimmt, erzeugen häufig hypertrophe Narben und führen zu funktionalen Beeinträchtigungen (3). Daher wurde eine aus 4 Experten der Wundbehandlung bestehende Begutachtergruppe gebeten, die Wunden klinisch zu beurteilen. Die vier Experten hätten die Mehrheit der vorgeführten Wunden operiert. Die Übereinstimmung zwischen den Meinungen der Beobachter wies allerdings eine sehr niedrige Korrelation auf. Darüber hinaus überschätzten sie alle bei weitem die Heilungsdauer. Die tatsächliche Dauer für eine vollständige Wundheilung war bedeutend kürzer. Diese Ergebnisse bestätigen, dass die Einschätzung durch einen erfahrenen Chirurgen, ob eine tiefe Hautverbrennung innerhalb von 3 Wochen verheilt, in etwa 50% der Fälle zutreffend ist (5). In erfahrenen Händen liefert eine frühe Exzision und Transplantation jedoch bessere Ergebnisse als eine nicht operative Behandlung von "unbestimmten" Hautverbrennungen (22).

Obwohl keine chirurgische Behandlung durchgeführt wurde und die Begutachter in der Mehrheit der Fälle (Mittelwert 72%) hypertrophe Narben erwarteten, wurde nur ein einziger Fall von Hypertrophie bei einem Patienten festgestellt, der nicht dazu bereit war, Kompressionskleidung zu tragen. In Bezug auf alle Fälle, in denen die Begutachter eine chirurgische Behandlung gewählt hätten, wurden die Ergebnisse nach der Phototherapie in 65,3% als zumindest vergleichbar mit den erwarteten chirurgischen Ergebnissen bewertet. Im Vergleich zu allen anderen konservativen Behandlungsmethoden wurde die Phototherapie in 97,6% als wenigstens gleichwertig und in der Hälfte der Fälle als besser oder deutlich besser eingeschätzt.

Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser klinischen Studie fassen wir zusammen, dass die Behandlung von tiefen Hautverbrennungen zweiten Grades unter plastischen Chirurgen nach wie vor ein kontrovers diskutiertes und umstrittenes Thema ist. Bei Verwendung von polarisiertem Licht in der Behandlung dieser "unbestimmten" Verbrennungen wird die exakte Bestimmung der Verbrennungstiefe weniger bedeutsam, da die Heilung so beschleunigt werden kann, dass sich die Wunden innerhalb von drei Wochen schließen. Polarisiertes Licht beschleunigt die Wundheilung und führt gleichzeitig zu einem Rückgang der Bildung von hypertrophen Narben. In vielen Fällen wurde sogar überhaupt keine Narbenbildung festgestellt. Diese Art der Therapie ermöglicht eine frühe und intensive Physiotherapie sowie die Applikation von Kompressionskleidung und Silikon-Gel-Folien. Unsere Ergebnisse beweisen ganz klar, dass die Phototherapie eine wertvolle Alternative zur chirurgischen

Behandlung von tiefen Hautverbrennungswunden ist (23). Insbesondere bei Verbrennungen an der Hand muss das alte Dogma der frühen Exzision und Hauttransplantation möglicherweise neu bewertet werden. Nach unseren Erfahrungen mit der Phototherapie auf Händen kann die Mobilisation sofort beginnen, ohne dass wie bei operierten Händen die Notwendigkeit einer Schienung besteht. Während der Behandlung kann eine physiotherapeutische Behandlung ohne Unterbrechung fortgesetzt werden (Abb. 6). In diesen Fällen von Handverbrennung wurden kein Funktionsverlust, keine Verbrennungskontrakturen und keine hypertrophen Narben festgestellt.

Von der Verwendung von polarisiertem Licht zur Behandlung von Verbrennungen dritten Grades wird abgeraten, sie stellt absolut keine Alternative zur Chirurgie dar.

Koen Depuydt, MD

Abteilung für plastische Chirurgie

Universitätsklinik Gent

De Pintelaan 185

B-9000 Gent

Belgien

## **Liteturangaben**

## Abbildungen

**Abb. 1:** Ein 1 Jahr alter Junge mit Verbrennungen an Bauch und Beinen nach einem Unfall mit heißem Öl. (A) Acht Tage nach der Verbrennung: Beginn der Phototherapie. (B) Nach 23 Tagen Phototherapie: fast vollständige Wundschließung. (C) Nach 11 Monaten Nachbehandlung.

**Abb. 2:** Eine junge Frau nach einer Verbrennung durch Feuer im Gesicht. (A) Vier Tage nach der Verbrennung: Beginn der Phototherapie. (B) Wundschließung nach 9 Tagen Phototherapie. (C) Nach 9 Monaten Nachbehandlung.

**Abb. 3:** Eine junge Frau nach einer Verbrennung durch Feuer am rechten Arm. (A) Drei Tage nach der Verbrennung: Beginn der Phototherapie. (B) Wundschließung nach 17 Tagen. (C) Nachbehandlung von 9 Monaten.

**Abb. 4:** (A) Ein postoperativer sekundärer Defekt, 18 Tage nach einer Hauttransplantation am Bein. Beginn der Phototherapie. (B) Keine Defekte mehr nach 24 Tagen. (C) Nachbehandlung von 10 Monaten.

**Abb. 5:** Verbrühung am Gesäß einer 65 Jahre alten Frau. (A) Zehn Tage nach der Verbrennung: Beginn der Phototherapie. (B) Wundschließung nach 18 Tagen. (C) Nachbehandlung von 13 Monaten.

**Abb. 6:** Ein junger Mann mit Handverbrennung nach einem Feuerunfall. (A) Phototherapie und Physiotherapie begannen am zweiten Tag nach der Verbrennung. (B) Wundschließung nach 19 Tagen. (C) Nachbehandlung von 9 Monaten. (D) Während der Therapie wurde der Patient zu keinem Zeitpunkt durch einen Funktionsverlust beeinträchtigt.

## Tabellen

Tab. 1: Indikation einer chirurgischen Behandlung. Einschätzungen durch die Begutachtergruppe (Beo.: Beobachter; Fall: Laufende Nummer des Falls; +: Indikation einer chirurgischen Behandlung; -: keine Indikation einer chirurgischen Behandlung).

<b>Fall</b>	<b>Beo.1</b>	<b>Beo.2</b>	<b>Beo.3</b>	<b>Beo.4</b>
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------

**Gesamt + :**

Tab. 2: Tatsächliche Wundheilungsdauer im Vergleich zur geschätzten. Die geschätzte Dauer war signifikant länger als die tatsächliche Heilungsdauer (*Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben*).

expected (days)	Erwartet (Tage)
real (days)	Tatsächlich (Tage)

Tab. 3: Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den erwarteten Ergebnissen nach einer chirurgischen Behandlung.

percent	Prozent
much worse	viel schlechter
worse	schlechter
comparable	vergleichbar
better	besser
much better	viel besser



### **Danksagungen**

Wir danken J. Vanmaele für die statistische Analyse und Prof. Dr. G. Matton, Dr. R. Peeters, Dr. M. Duinslaeger für ihre Kooperation.