

Messmethoden in der Wundheilung



Sebastian Reischle

Um den Heilerfolg einer Wunde beurteilen zu können, sind Messmethoden aus dem heutigen Alltag nicht mehr wegzudenken. Unter der Prämisse der Dokumentation wurden in den letzten Jahren zahllose Ansätze zur reproduzierbaren und verlässlichen Messung entwickelt. Der Einzug der digitalen Technologie in der Dokumentation hat vieles vereinfacht und ist heute nicht mehr wegzudenken.

Bei der Beurteilung einer – meist chronischen – Wunde werden standardisierte Verfahren eingesetzt, wobei abhängig von Lokalisation und Ursache einer Wunde die Frage nach der Messmethode der Wahl nicht fehlen darf. Neben Methoden, die routinemäßig überall problemlos durchführbar sein sollten, gibt es spezielle Methoden, die großen Abteilungen vorbehalten sind, und Methoden, die meist in der Forschung eingesetzt werden, da es hier eines großen Zeit- und Personalaufwandes bedarf. Der Einsatz der Methoden ist auch vom Ausbildungsstand, dem Wissen und der Erfahrung des Beurteilenden in der Wundheilung abhängig.

Weiterhin kann man reine Flächen- und Volumenmessungen von Mikrozirkulations- und Gewebemessungen unterscheiden. Wundheilung kann im eigentlichen Sinne des Wortes nicht gemessen werden. Durch die Bestimmung mehrerer Parameter kann jedoch ein Fortschritt in der Heilung dokumentiert werden. Da eine akute Wunde in der Regel problemlos heilt, kommen Messmethoden erst dann zum Einsatz, wenn der normale Heilungsvorgang vorzeitig zum Stillstand kommt oder nicht mehr angeregt werden kann. Die zugrundeliegenden Ursachen werden dann gemessen. Da fast alle proliferativen Vorgänge im Körper von der Blut- und Sauerstoffversorgung abhängig sind, spielt die Durchblutungsmessung eine große Rolle.

Routinemethoden

Hier steht in erster Linie die praktische Anwendung im Vordergrund. Die Messung muss schnell durchführbar, einfach in der Anwendung, reproduzierbar, billig und effektiv sein.

Blutversorgung und Gefäßstatus

Zuerst sollte eine insuffiziente Blutversorgung des Wundgebietes ausgeschlossen werden. Daher ist bei Extremitätenwunden die Bestimmung des Ruhedruckindex eine Grundvoraussetzung, nicht nur für die Therapieplanung. Der Index bestimmt über das weitere Procedere in sehr hohem Maße.

$$\text{Ruhedruckindex} = \frac{\text{Systolischer Blutdruck am Knöchel}}{\text{Systolischer Blutdruck am Oberarm}}$$

Liegt z.B. der Ruhedruckindex bei 0,8 und tiefer, liegt eine beginnende bis stärkere arterielle Minderversorgung vor, die einerseits bereits die Ursache für einen zum Stillstand gekommenen Heilungsprozess darstellen kann und andererseits auch eine wirkungsvolle Kompressions-Therapie verhindert. Eine aussagekräftige Untersuchung der Arterien und Venen (Gefäßstatus) mit dem bidirektionalen Doppler, besser noch mittels Duplex-Sonographie, ist für die Beurteilung der Ursache essentiell, gefolgt von einer beidseitigen Umfangmessung der Extremität in mindestens 2 Etagen.

Abstrich und Antibiogramm

Ein bakteriologischer Abstrich misst die Keimbesiedlung der Wunde und sollte bei Verdacht auf eine superinfizierte Wunde durchgeführt werden, da eine antibiogrammgestützte Therapie die Abheilungszeit deutlich verkürzt.

pH Messung

Untersuchungen an Patientengruppen haben ergeben, dass sich der pH-Wert einer Wunde in Korrelation mit der Besiedlung pathogener Keime setzen lässt. Im Gegensatz zur normalen, unverletzten Haut mit einem pH-Wert von $6,64 \pm 0,24$ liegt der Wert einer granulierenden Wunde zwischen 7,2 und 7,5. Das Ulcus cruris zeigt im Schnitt einen pH von $7,96 \pm 0,16$. Verändert sich der pH über diese Werte hinaus, so ist mit einer bakteriellen Besiedlung zu rechnen. Reihenversuche zeigten, dass bei einem pH unter 6,7 meist *E. coli* und *Staphylococcus aureus* in Konzentrationen höher als 10^7 , bei einem pH über 8 hingegen *Pseudomonas aeruginosa* höher als 10^8 anzu-treffen sind.

Die Messung erfolgt zweckmäßigerweise mit einer industriellen pH-Sonde, die desinfizierbar ist und mit einer Pufferlösung auf einen pH-Wert von 7,0 geeicht ist. Alternativ kommt handelsübliches Indikatorpapier (Lackmus oder Phenolphthalein) zur Anwendung. Der pH-Wert wird unmittelbar nach Abnahme des Verbandes direkt in der Wunde oder im Wundsekret bestimmt.

Planimetrie

Die bis heute in vielen Fällen durchgeführte Achsenmessung der Wunde mit der Bestimmung der größten Breite und Länge sollte heute nur noch in Ausnahmefällen durchgeführt werden, da sie sehr ungenau ist. Durchgesetzt hat sich demgegenüber das Abpausen auf Gitternetzfolien, die als Träger für Polyurethanfolien (z.B. OpSite) dienen. Diese besitzen ein standardisiertes Netz (Grid) aus seitenlängengleichen Quadraten, die nach dem Abpausen der Wundränder ausgezählt werden. Nicht zur Gänze in die Wundoberfläche eingeschlossene Quadrate werden näherungstechnisch berechnet (z.B. $4 \times \frac{1}{2}$ und $8 \times \frac{1}{4}$ Quadrat). Anhand dieser Technik lässt sich die Wundoberfläche bis auf ca. 10 % Fehlerquote bestimmen. Alternativ lassen sich der Umfang und die Fläche neben dem direkten visuellen Vergleich auch mittels PC und Scanner von der Folie errechnen, eine ganze Reihe von Softwarelösungen stehen hier zur Verfügung. Eine Fotodokumentation ist, wo möglich, ebenfalls anzuraten.

Volumenbestimmungen

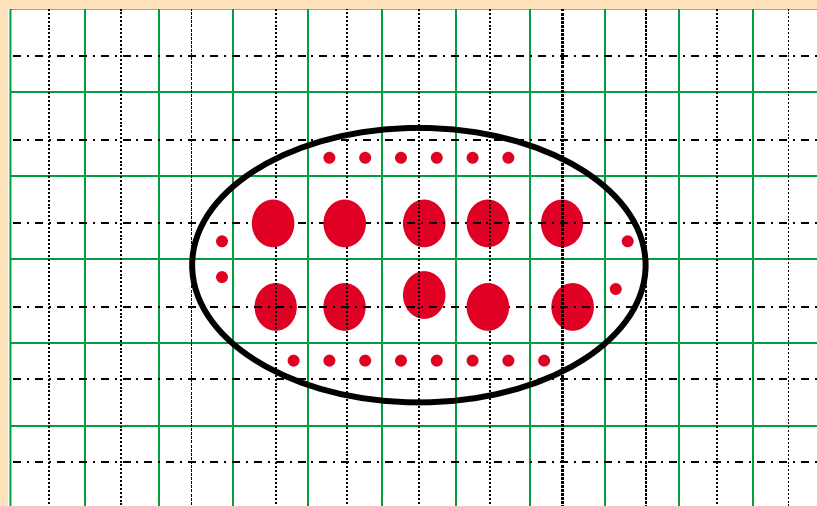
Zur einfachen Volumenbestimmung gibt es mehrere Methoden, die sich durchgesetzt haben:

Seit vielen Jahren wird die sog. Kochsalzmethode verwendet. Dabei wird eine selbstklebende Polyurethanfolie über die zu messende Wunde geklebt. Danach wird die künstlich bedeckte Wundhöhle mittels Spritze und Nadel mit 0,9 %iger NaCl-Lösung gefüllt. Die Menge der NaCl-Lösung entspricht dem Volumen der Wundhöhle. Die Genauigkeit ist abhängig von der Fertigkeit des Arztes oder der Schwester, die exakte Menge einzuspritzen, die dem gedachten Niveau der geschlossenen Wunde entspricht; auch werden minimale Mengen vom Gewebe resorbiert.

Als schnell, zuverlässig und billig haben sich ebenfalls Alginateabgüsse der Wunden erwiesen. Dabei wird ein handelsübliches Alginat zur Herstellung von Gebissabdrücken aus der Zahnmedizin verwendet. Die aus Alginatpulver und H_2O hergestellte Paste wird in die Wunde eingebracht und entsprechend dem umgebenden Hautniveau glattgestrichen, sodann für einige Minuten zur Erhärtung in der Wunde belassen. Der elastische Abdruck kann dann durch Verdrängung im Wasserzylinder oder durch Wiegen und Dichteberechnung volumetrisch berechnet werden.

Abb. 1

Planimetrie



Standardisierte Gridmuster

- $\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$ etc.
- Summe
- 10% Fehler
- Alternativ PC

Da beide Methoden den Nachteil besitzen, dass in der Wunde manipuliert wird und so eine Kontaminationsgefahr besteht, wurde von Plassmann 1994 eine neue computerunterstützte Methode zur noninvasiven Volumen-, Tiefe-, Umfang- und Flächenbestimmung (MAVIS) vorgestellt, die eine Fehlerrate von $< 5\%$ besitzt. Parallele Bündel fraktionierten Lichts werden auf die Wunde projiziert und die Reflexionen von einer CCD-Kamera aufgezeichnet, die danach mittels des mathematischen Verfahrens der Triangulation berechnet werden. Das Verfahren ist auf eine Wundfläche von 14×16 cm begrenzt und kann lediglich bei unterminierten Wunden keine exakten Ergebnisse liefern. Dieses System ist inzwischen zur Serienreife entwickelt worden und verspricht sehr gute Ergebnisse in der Routine.

Spezielle Messmethoden und Forschungsmethoden

In Abhängigkeit von der technischen Ausstattung einer Abteilung sind Messmethoden zu empfehlen, die einen weiteren Aufschluss der zugrundeliegenden Störung der Wundheilung geben. Meist handelt es sich um eine weiterführende Diagnostik der Perfusion und Mikrozirkulation und weitere physikalische Messungen, die einen höheren Aufwand an Zeit und Personal erfordern.

Transkutane O_2 -Partialdruckmessung

Die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung gibt einerseits Aufschluss über den systemischen arteriellen Sauerstoffpartialdruck, andererseits über die Sauerstoffversorgung der

Tab. 1

Transkutane Sauerstoff-Partialdruckmessung (TcPO₂) bei chronisch venöser Insuffizienz

Patientengruppe	Wade	Innenknöchel	Fußrücken
Gesund	66,4 ± 11,6	64,3 ± 6,6	52,2 ± 12,3
CVI ohne Hautkomplikation	64,1 ± 10,9	58,1 ± 17,9	60,1 ± 8,4
Pigmentierung	59,4 ± 13,6	54,2 ± 13,5	58,6 ± 24,4
Dermatosklerose	57,7 ± 7,3	32,7 ± 20,2	49,3 ± 10,7
Atrophie blanche	61,7 ± 7,3	1,3 ± 0,4	65,8 ± 10,8
Ulcus cruris	55,9 ± 10,0	31,5 ± 18,5	55,3 ± 14,75

Transkutaner Sauerstoffpartialdruck in Abhängigkeit von der Lokalisation und der Art der Hautläsion

Haut. Die Messsonde wird zur Untersuchung mit einer standardisierten Elektrolytlösung auf die Haut aufgeklebt und auf eine Temperatur von entweder 37°C (PAVK, DM, Sklerodermie) oder 43–45°C (art. O₂ Partialdruck, CVI) erwärmt. Die Erwärmung ist zur Umkehr des Sauerstoffgradienten der Epidermis, der Nivellierung der kapillaren O₂ Shunts und der maximalen kapillaren Sphinkterdilatation notwendig. Da bei jeder Messung ein Referenzareal gemessen wird, zeigt sich naturgemäß bei pathologischen Zuständen der Hauternährung eine schlechte Korrelation mit dem systemischen Sauerstoffpartialdruck: bei gestörter Durchblutung, bei sauerstoffverbrauchenden Vorgängen und bei Sauerstoffbarrieren. In Tab. 1 wird diese Methode in den verschiedenen Stadien einer chronisch venösen Insuffizienz (CVI) angewandt. Eine signifikante Erniedrigung des Partialdrucks ergibt sich am Innenknöchel bei einer Atrophie blanche, einer Dermatoliposklerose und beim Ulcus cruris, da es hier durch eine venöse Hypertonie zu einer verringerten Sauerstoffversorgung kommt und das Ödem, die Fibrinmanschetten und die Vernarbungstendenz eine Sauerstoffbarriere darstellen.

Punktuelle Perfusionsmessung

Als Methode zur punktuellen Perfusionsmessung eignet sich die Laser Doppler Fluxmetrie, eine Bestimmung der Hautdurchblutung anhand des optischen Dopplershifts des kohärenten Laserlichts. Zugrunde liegt dieser Technologie, dass nur bewegliche Teile die Wellenlänge und die Frequenz des reflektierten Lichts ändern, statische Strukturen das Licht ohne Änderung reflektieren. Die emittierende Quelle ist ein Ne-He Laser mit der Wellenlänge 632,8 nm. (alternative Emissionsquellen: 479–800 nm). Die durchschnittliche Messtiefe des Lasers beträgt 146–300 µm. Mit dieser Eindringtiefe ist die Messung der Mikrozirkulation im papillären Plexus und im subpapillären Plexus der Haut möglich. Je nach Fragestellung können die Erythrozyten-Fließgeschwindigkeit in mm/s oder die Konzentration der sich im Messvolumen bewegenden Teile gemessen werden. Durchgesetzt hat sich jedoch die Bestimmung des sog. Flux, dem Produkt aus Erythrozyten-Fließgeschwin-

digkeit und Konzentration. Der Flux wird entweder in A.U. (arbiträren Einheiten) oder in einer Prozentskala von 0–100 % angegeben. Aufgrund minimaler Bewegungen im Gewebe auch ohne Perfusion („Biological Zero“) sind Messungen immer in Bezug zu Ausgangswerten eines Referenzareals zu setzen.

Regionale Unterschiede in der Messung sind gegeben: Aufgrund von AV-Shunts ist der Flux an den Akren am höchsten. Am Beispiel der chronisch venösen Insuffizienz ist der Flux bei gesunden Kontrollen 49 AU, bei primärer Varikose 47 AU und bei der Dermatolipos-

sklerose 76 AU. Die Faserdicke der Sonde beträgt 50–2.000 µm und wird an deren Ende auf der Haut fixiert.

Flächenhafte Perfusionsmessung

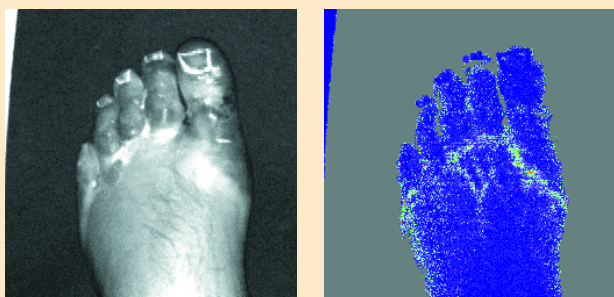
Als Weiterentwicklung der Laser Doppler Fluxmetrie wurde der Laser Doppler Imager entwickelt. Er dient der flächenhaften Perfusionsmessung analog dem Laser Doppler mit 65.000 Messpunkten auf einer Fläche bis 50 x 50 cm. Das zu messende Areal wird dabei nicht berührt, sondern aus einer Entfernung von ca. 20–100 cm abgetastet. Ein computergesteuerter Servomotor steuert den Laser meanderförmig über das Messgebiet. Die Ergebnisse werden als absolute Fluxwerte, als Perfusionsmittelwert und als Perfusionsmaximum in AU angegeben. Die klinische Anwendung des Imagers dient zur Messung der gestörten Mikrozirkulation, zur Verlaufskontrolle bei Therapieverfahren und Mikrozirkulationsstörungen und der Wirksamkeit von vasoaktiven Substanzen (Abb. 2). In der Diagnostik und Verbrennungstherapie leistet der Imager gute Dienste bei der Unterscheidung der Verbrennungsgrade.

Thermographie

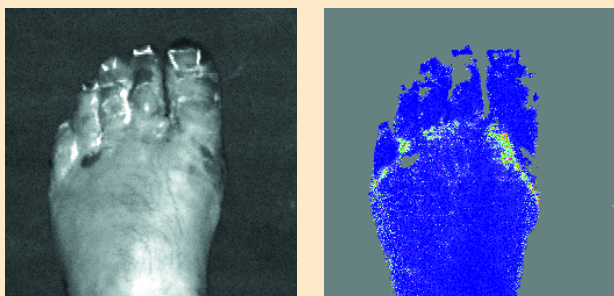
Da der Körper permanent Wärme abstrahlt, wurden verschiedene Methoden zur Darstellung der Wärmeverteilung entwickelt. Grundprinzip der klassischen Thermographie ist die Messung der Infrarot-Wärmeabstrahlung eines Körpers. Diese ermöglicht eine 2-dimensionale Darstellung der Perfusion einer Körperregion abhängig von deren Temperaturänderung. Unsere Wärmeabstrahlung im Bereich von 300°K entspricht einem schwarzen Körper mit einer Wellenlänge von 3–14 µm (Infrarotbereich). Durch einen geeigneten Photodetektor erfolgt eine scannerartige Abtastung. Ein Signalprozessor errechnet dann die Wärmeabstrahlung der Haut in Grad Celsius. Einsatzgebiete sind hier v.a. die Akren aufgrund ihrer besonderen thermoregulativen Fähigkeiten. Die Perfusionsmessung erfolgt bei dieser Methode im Gegensatz zum Laser Doppler Imager im tiefen dermalen Plexus und subpapillären Plexus der Haut, also eine Etage „tiefer“, da ja der tiefe dermale

Abb. 2

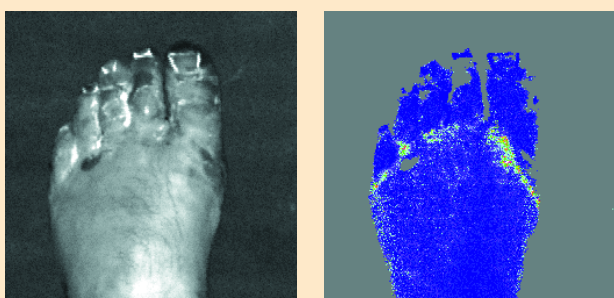
Laser Doppler Imager-kontrollierte
Ilomedin-Therapie einer Erfrierung III. Grades
des rechten Vorfußes



Situs bei Aufnahme



5. Tag



25. Tag

Plexus für die Thermoregulation der Haut verantwortlich zeichnet. Eine vereinfachte Variante stellt die Kristall-Kontakt-Thermographie dar. Detektorplatten oder Filme mit Flüssigkristallen färben sich bei Hautkontakt je nach Temperatur unterschiedlich an. Folien in verschiedensten Temperaturbereichen sind erhältlich. Eine Weiterentwicklung der Thermoradiographie stellt die Echtzeit-Video-Thermographie dar. Mit einer CCD- Videokamera und vorgeschaltetem Infrarotfilter sowie einer speziellen Software lassen sich Zirkulationsstörungen und Versuche in Echtzeit beobachten und ermöglichen eine filmartige Darstellung.

AromaScan

Ein aus der Nahrungsmittelindustrie entlehntes Messverfahren für Qualitätskontrolle von Speisen und Getränken verspricht hochinteressante Forschungsergebnisse: Mikrosensoren können durch Änderung der chemischen Leitfähigkeit Gerüche detektieren, digitalisieren und speichern (Multi element odour detection). Interessant ist hier vor allem die Wiedererkennung von Geruchsmustern verschiedener Mikroorganismen, indem sich spezifische Geruchsmuster auch spezifischen Spezies zuordnen lassen.

Dass Wunden bisweilen nicht angenehm riechen, hat seinen Ursprung in ihrer Besiedlung mit verschiedenen Keimen. Ein regelrechter Cocktail aus flüchtigen kurzkettigen organischen Säuren wie n-Butyrin, n-Valerin, n-Caproin, n-Haptanoin und n-Ccaprylin sowie Amine und Diamine wie Cadaverin und Putrescin, die bei den metabolischen und proteolytischen Prozessen anfallen, kann heute durch Mikrochips in ppm (Parts per Million) bestimmt werden. Wundverbände werden bei 37°C 30 min. in einem Kunststoffbehälter inkubiert und anschließend „aromagescant“. Entsprechend der Aromamuster wird die Besiedlung bestimmt. Neueste Geräte „schnüffeln“ schon direkt auf der Haut oder in der Mundhöhle des Patienten beim Zahnarzt.

Zum Einsatz kommt das Verfahren als Screeningtest oder zur Kontrolle der Wundheilung, da eine Antibiose eine deutliche Änderung des Geruchsmusters bedingt. Auch zeigen erste Ergebnisse, dass ein Nachweis nicht kultivierbarer Mikroorganismen gelingt.

Conclusio

Dieser kurze Überblick der Methoden stellt in keiner Weise einen Anspruch auf Vollständigkeit, da weltweit in vielen Zentren eine intensive Wundheilungsforschung betrieben wird und immer neue Methoden und Ansätze verfolgt, andere wieder verworfen werden. Welche Methoden nun zum Einsatz kommen sollen, hängt stark von der jeweiligen Organisationsstruktur einer Einrichtung für Wundbehandlung ab, jedoch sollten heutzutage die Routinemessmethoden überall beherrscht werden und zum Standard gehören. Eine Auswahl aus den speziellen Messmethoden ist wünschenswert und sollte individuell anhand der zur Verfügung stehenden Ressourcen erfolgen.

Literatur beim Verfasser

Dr. Sebastian Reischle
FA für Dermatologie und Venerologie
Gesundheitszentrum Althietzing
Kupelwiesergasse 15
A-1130 Wien
Tel. 01/877 94 44
Fax 01/879 04 90
sebastian.reischle@hautsache.at