

Evidenz der Wirksamkeit einer keramischen Wundauflage bei chronischen Wunden mittels Fluoreszenzbildgebung: eine Pilot-Fallserie

Evidence of the efficacy of a ceramic wound dressing in chronic wounds using fluorescence imaging: a pilot case series

R. Strohal, G. Hämmerle

Zusammenfassung

Bakterielle Infektionen des Wundbetts sind eines der Haupthindernisse bei der Wundheilung. Daher sind im Rahmen des Wundmanagements effektive Maßnahmen zur Infektionskontrolle erforderlich. Mit der keramischen Wundauflage Cerdak™ steht eine neue Therapiemöglichkeit zur Behandlung infizierter chronischer Wunden zur Verfügung. Chronische Wunden weisen allerdings häufig unklare oder fehlende klinisch sichtbare Anzeichen einer Infektion auf. Zum Nachweis von relevanten Erregerzahlen im Wundbett bietet daher die Echtzeit-Fluoreszenzbildgebung (FI) eine Alternative zur zeitaufwendigen und teuren mikrobiologischen Diagnostik. In dieser Pilot-Fallserie wurde zudem die Wirkung der keramischen Wundauflage auf die Bakterienlast im Wundbett und die Wundheilung untersucht. Erstmals wurde dabei das FI-Verfahren zum Nachweis der infektionskontrollierenden Wirkung einer Wundauflage herangezogen.

Bei 6 Patienten mit chronischen Wunden unterschiedlicher Genese wurde mittels FI eine relevante Bakterienbesiedelung der Wunde festgestellt. Dieser Befund führte zur Therapieentscheidung, die keramische Wundauflage einzusetzen. Die Bakterienlast in der Wunde wurde im Verlauf der Behandlung bis zum Abklingen der Infektion mittels FI untersucht. Ferner wurde der Rückgang der sichtbaren klinischen Infektionssymptome bewertet. In 5 Fällen konnte bereits nach 2-3 Tagen eine Reduktion der Bakterienlast verzeichnet werden. Die mediane Zeit, bis keine oder wenige Bakterien im Wundbett/Wundumgebung nachgewiesen werden konnten, betrug 7 Tage. Die Behandlung führte in allen Fällen zu einer erheblichen Verbesserung des Wundzustandes.

Die Ergebnisse der vorliegenden Pilot-Fallserie zeigen, dass die Kombination aus FI und keramischer Wundauflage eine effektive Herangehensweise für das Management infizierter chronischer Wunden darstellt. Sowohl der Nachweis mittels FI als auch die keramische

Wundauflage sind einfach und effizient in der Handhabung und daher für die Anwendung in der täglichen Routinepraxis geeignet.

Schlüsselwörter

Antimikrobiell, Cerdak, chronische Wunden, Fluoreszenzbildgebung, keramische Wundauflage, Wundinfektion

Abstract

Bacterial infections represent one of the main obstacles in wound healing, thus, requiring effective measures of control in wound management. The ceramic wound dressing Cerdak™ provides a new therapeutic option in treating infected chronic wounds. However, these wounds often lack visible or clear clinical signs of an infection. For the detection of relevant pathogen counts in the wound bed, real-time fluorescence imaging (FI) offers an alternative to time-consuming and expensive microbiological diagnostics. This pilot case series investigated the effect of the ceramic wound dressing on the bacterial load in the wound bed and on wound healing. For the first time, the infection-controlling effect of a dressing was demonstrated using FI.

In 6 patients with chronic wounds of different genesis, a relevant bacterial wound colonization was determined via FI, leading to the application of the ceramic wound dressing. During treatment, wound bacterial burden was examined using FI, until the infection subsided. Furthermore, the decrease of visible clinical symptoms of infection was evaluated. After only 2-3 days, a reduction in bacterial load was noted in 5 cases. In a median time of 7 days, no/few bacteria could be detected in the wound bed/environment. In all cases, the treatment significantly improved wound bed conditions.

The present pilot case series demonstrates that the combination of FI and ceramic wound dressing is an effective approach for the management of infected chronic wounds. Both, the FI device and the ceramic wound dressing

are easy and efficient to use and suitable for application in daily routine practice.

Keywords

Antimicrobial, Cerdak, chronic wounds, fluorescence imaging, ceramic wound dressing, wound infection

Einleitung

Im deutschsprachigen Raum sind etwa 5% aller Haushalte von chronischen Wunden betroffen, wobei insbesondere ältere Personen an chronischen Wunden leiden [1, 2]. Bei inadäquater Diagnostik und Behandlung können chronische Wunden über Jahre hinweg bestehen und die Lebensqualität der Betroffenen erheblich verschlechtern [3, 4]. Darüber hinaus stellen chronische Wunden eine enorme finanzielle Belastung für das Gesundheitssystem dar [5-8].

Das moderne Wundmanagement sieht neben der Kausaltherapie einer eventuell vorliegenden Grunderkrankung generell eine individuell abgestimmte phasengerechte Wundbehandlung vor (MOIST-Konzept: Exsudatmanagement [*Moisture balance*], Sauerstoffbalance [*Oxygen balance*], Infektionskontrolle [*Infection control*], Unterstützung des Heilungsprozesses [*Support Healing*] sowie Gewebemanagement [*Tissue management*]). Dabei stehen heute zahlreiche Therapieoptionen zur Verfügung, wobei häufig im Verlauf der phasengerechten Therapie auf verschiedene Wundauflagen, Therapiemaßnahmen und Wirkstoffe in Abhängigkeit von der Wundheilungsphase zurückgegriffen werden muss [9]. Trotz der Verfügbarkeit diverser Therapieoptionen für ein individuell abgestimmtes Wundmanagement, ist die Diagnostik und phasengerechte Behandlung chronischer Wunden für Wundpflegefachkräfte weiterhin eine große Herausforderung [9, 10]. Im klinischen Alltag stützt sich dabei die Bewertung des Wundzustandes überwiegend auf klinische Anzeichen und Symptome, die mit bloßem Auge sichtbar sind [11-15]. So wurde beispielsweise ein

internationaler therapeutischer Index für lokale Infektionen (TILI-Score) entwickelt, der Ärzte und Pflegekräfte dabei unterstützen soll, lokale Wundinfektionen zu diagnostizieren [15]. Die Diagnose der Wundinfektion erfolgt dabei auf Basis der folgenden klinischen Kriterien: periläsionales Erythem, Überwärmung, Ödem, Verhärtung oder Schwellung, spontaner Schmerz oder Druckschmerz, Stagnation der Wundheilung sowie Anstieg und/oder Änderung der Farbe oder des Geruchs des Exsudats.

Nachweis bakterieller Erreger im Wundbett

Im Rahmen des Wundmanagements ist entscheidend, dass Faktoren, welche die Wundheilung stören, durch die Wundpflegefachkräfte rechtzeitig identifiziert werden. Eines der Haupthindernisse der Wundheilung sind pathogene Bakterien, welche das Wundmilieu verändern und den Heilungsprozess stören [11, 16, 17]. So verursachen beispielsweise bakterielle Toxine eine Nekrotisierung des Gewebes und stören zudem das Gleichgewicht wichtiger am Wundheilungsprozess beteiligter Proteine, wie Zytokine und Proteasen [18-20]. Generell konnte eine Korrelation zwischen der Bestehensdauer einer Wunde und der Besiedelung mit bestimmten Erregern festgestellt werden [21]. Zudem gibt es einen Zusammenhang zwischen Wundgröße und Erregerart [21]. Einer aktuellen Studie zufolge, konnte beispielsweise ein signifikanter Zusammenhang zwischen chronischen Wunden, bei denen keine Heilung innerhalb von 6 Monaten einsetzte, und dem Vorliegen von aeroben und fakultativ anaeroben Bakterien in der Wunde festgestellt werden [22]. Mit Bakterien infizierte Wunden weisen allerdings nicht immer eindeutige klinische Anzeichen einer Infektion auf, sodass in diesen Fällen im Rahmen der Wundversorgung oft auf die Durchführung von Wundabstrichen und labordiagnostischen Tests zum Nachweis von Bakterien verzichtet wird [11]. In der Folge bleibt die Infektion unerkannt und der Einsatz antimikrobieller Maßnahmen bleibt aus [11]. Wird aufgrund des Verdachts einer Infektion ein Wundabstrich durchgeführt, liegen die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung meist erst nach einigen Tagen vor. Ferner ist ebenso die Interpretation der Ergebnisse fehleranfällig, sodass es auch nach erfolgter mikrobiologischer Diagnostik zu einer Über- oder Unterbehandlung der Wunden kommen kann [11, 23]. In fast allen Wunden kann jedoch eine Vielzahl

an Bakterien nachgewiesen werden [24]. In diesem Zusammenhang ist es entscheidend, dass zwischen einer unkritischen bakteriellen Besiedelung der Wunde und einer klinisch relevanten Besiedelung unterschieden wird. Eine routinemäßige mikrobiologische Diagnostik wäre zudem sehr kostspielig und würde sowohl die Wundmanager als auch die Diagnostiklabore zeitlich und finanziell belasten [17]. Eine schnelle und einfache alternative Möglichkeit zum Nachweis von Bakterien in der Wunde bietet da die Methode der Fluoreszenzbildgebung (*Fluorescence Imaging, FI*).

Fluoreszenzbildgebung (MolecuLight™) zum Echtzeit-Nachweis bakterieller Infektionen

Mit Hilfe des FI-Handgerätes MolecuLight™ (MolecuLight Inc., Toronto, Kanada) ist ein nichtinvasiver, im Klinikalltag leicht anwendbarer, Echtzeit-Nachweis einer moderaten bis hohen Bakterienbelastung in der Wunde möglich [13]. Der Nachweis erfolgt ohne Wundkontakt und verläuft daher schmerzfrei für den Patienten. Mittels Fluoreszenzbildgebung kann dabei nicht nur die Präsenz von Bakterien in der Wunde nachgewiesen werden, sondern es erfolgt auch eine bildliche Darstellung der räumlichen Verteilung der Bakterien in der Wunde [13]. Auf Basis dieser Informationen kann eine gezielte und schnelle antimikrobielle Behandlung der Wunde durchgeführt und somit die Heilung gefördert werden [13, 25-29]. Mittels der FI-Methode werden die intrinsischen Fluoreszenzcharakteristika von Bakterien genutzt, um eine Wundinfektion festzustellen. Das FI-Handgerät bestrahlt dabei die Wunde mit violetterem Licht mit einer Wellenlänge von 405 nm. In der Folge erzeugen sowohl das Gewebe (natürliche Autofluoreszenz) als auch die Bakterien endogene charakteristische Fluoreszenzsignale (Abb. 1) [13]. Durch die Bestrahlung mit ultraviolettem (UV) oder violettem Licht fluoreszieren porphyrinbildende Bakterien Rot, während *Pseudomonas aeruginosa* durch ihre charakteristische cyane (blaugrüne) Fluoreszenz identifiziert werden können. Das dabei eingesetzte violette Licht ist im Gegensatz zum UV-Licht für das Gewebe unschädlich. Ferner enthält das FI-Handgerät einen optischen Filter, um störende Fluoreszenzsignale, die beispielsweise vom Gewebe der Wundumgebung ausgehen oder durch Reflektion entstehen, herauszufiltern. Auf diese Weise passieren lediglich bakterielle

Fluoreszenzsignale (Rot und Cyan) sowie eine schmale Bandbreite grüner Autofluoreszenz des Gewebes den optischen Filter. Aus diesen Signalen setzt sich dann ein Echtzeit-Fluoreszenzbild zusammen, welches neben einem Standardbild der Wunde mit dem FI-Gerät aufgenommen wird [13].

Maßnahmen zur Infektionskontrolle

Wenn im Rahmen der klinischen Wundbeurteilung oder mittels mikrobiologischer Diagnostik eine Infektion festgestellt wurde, können geeignete Therapiemaßnahmen zur Infektionskontrolle eingeleitet werden, um pathogene Keime aus der Wunde zu eliminieren. Dazu werden in der routinemäßigen klinischen Praxis verschiedene Maßnahmen zur Infektionskontrolle eingesetzt, wie beispielsweise Antiseptika (z. B. Polihexanid, Octenidin), Antibiotika, Wundauflagen mit antimikrobiellen Wirkstoffen, physikalisch bindende Wundverbände mit Dialkylcarbamoylchlorid oder Wundverbände mit Silber [9, 30]. Insbesondere bei *Ulcer cruris venosum* zeigten sich die derzeit verfügbaren Antibiotika und Antiseptika allerdings nur als begrenzt wirksam [31]. Ferner können Antibiotika durch die Zerstörung der bakteriellen Zellen zu einer erhöhten Ausschüttung von Endotoxinen führen, was einen septischen Schock zur Folge haben kann [32]. Auch die antibakterielle Wirkung von Silber ist bekannt, dennoch können Wundinfektionen durch silberhaltige Wundauflagen allein häufig nicht kontrolliert werden, ferner gibt es Hinweise auf eine zytotoxische Wirkung von Silber [33-35]. Eine Alternative zur Behandlung infizierter Wunden bietet eine keramische Wundauflage (Cerdak™), welche gut verträglich ist und durch die kontinuierliche Aufnahme von Wundexsudat die Bakterienlast in der Wunde reduziert.

Keramische Wundauflage (Cerdak™) zur Reduktion der bakteriellen Besiedelung

Die keramische Wundauflage Cerdak™ (Cerdak Ltd., Mtunzini, Südafrika) besteht aus einem sterilen, ungewebten Stoffbeutel und ist mit einem mikroporösen, inerten, kugelförmigen Keramikgranulat gefüllt (Abb. 2) [36]. Aufgrund der kapillaren Saugwirkung des Keramikgranulats wird überschüssiges Wundexsudat, inklusive Bakterien und anderer Substanzen wie Endotoxine, kontinuierlich aus der Wunde entfernt [36, 37]. Im Rahmen einer *in vitro*-Studie konnte gezeigt werden, dass die

keramische Wundaufgabe keine oder eine nur geringe antibakterielle Aktivität, aber eine hohe Bindungskapazität für Wasser und Endotoxine aufweist [38]. Ferner schützt die keramische Wundaufgabe die DNA vor reaktiven Sauerstoffspezies [38]. Auf diese Weise wird der physiologische Heilungsprozess der Wunde unterstützt [36].

Die Wundaufgabe kann bis zur Sättigung über mehrere Tage auf der Wunde verbleiben, sodass häufige Verbandswechsel nicht erforderlich sind [36]. Aufgrund der kontinuierlichen Absorptionswirkung befindet sich stets neu gebildetes Wundexsudat mit wundheilungsfördernden Faktoren auf der Wunde. Gleichzeitig wird ein für die Wundheilung förderliches feuchtes Mikroklima im Wundbett beibehalten. Ferner wird die Wunde kontinuierlich mit Sauerstoff versorgt, der über die Zwischenräume der Keramikgranulate unter der Wundaufgabe zirkulieren kann [37].

Für die Herstellung der Keramik wird bioinerte Tonerde (Aluminiumoxid) verwendet, welche auch in keramischen Prothesen enthalten ist [37]. Aufgrund der inerten Eigenschaften des Keramikgranulats ist die Wundaufgabe gut verträglich, und es werden keine Bestandteile an den Organismus abgegeben [37, 39]. Die Wirkung der keramischen Wundaufgabe hinsichtlich der Heilungsförderung chronischer Wunden wurde bisher nur begrenzt in Fallstudien untersucht [40-42]. Die untersuchten Fälle umfassten dabei sowohl Patienten mit diabetischem Fußulkus, einschließlich Infektionen mit multiresistenten Bakterien, als auch Patienten mit schwerheilbaren posttraumatischen Wunden.

Vorliegende Pilotstudie: Fallberichte

Um die Wirksamkeit der keramischen Wundaufgabe im klinischen Alltag zu untersuchen, wurden 6 Patienten mit infizierten chronischen Wunden unterschiedlicher Ätiologie behandelt. Zur Identifikation der infizierten Wunden wurde das FI-Handgerät verwendet. Auf diese Weise sollten bereits vor Auftreten klinischer Anzeichen einer Infektion Bakterien in Echtzeit in der Wunde nachgewiesen werden, und dieser Befund dann zur Therapieentscheidung der Wundmanager dienen, die keramische Wundaufgabe zu verwenden bzw. auch den richtigen Zeitpunkt des Therapiestops anzeigen. Während der Verbandswechsel wurde die Wirksamkeit der keramischen Wundaufgabe im Verlauf der Pilotstudie hinsichtlich der Infektionskontrolle durch Visualisierung der Abnahme der

Bakterienlast anhand der FI-Methode bewertet. Ferner validierten die Wundpflegefachkräfte die FI-Ergebnisse durch die Bewertung des Rückgangs visuell sichtbarer klinischer Anzeichen einer Infektion.

Im Folgenden werden die Behandlungsergebnisse des kombinierten Einsatzes der keramischen Wundaufgabe und des FI-Handgerätes anhand von verschiedenen Fallberichten dargestellt sowie der Nutzen dieser Herangehensweise diskutiert.

Methodik

Patienten und Wundarten

Im Zeitraum von 06/2019 bis 11/2019 wurden insgesamt 6 Patienten mit chronischen Wunden unterschiedlicher Genese (Tab. 1) in der Wundambulanz des Landeskrankenhauses Bregenz/Österreich mit einer keramischen Wundaufgabe behandelt und die Keimbelastung in den Wunden über einen Zeitraum von bis zu 14 Tagen mittels eines FI-Handgerätes dokumentiert. Bei insgesamt 4 Patienten lag ein *Ulcus cruris* vor, wobei es sich in 3 Fällen um ein *Ulcus cruris venosum* handelte und in einem Fall um ein *Ulcus cruris mixtum*. Ein Patient hatte eine schwere Pilzinfektion am Fuß, 1 weiterer Patient litt an einem Dekubitus nach Amputation des Unterschenkels.

Initiale Wundbehandlung

Initial wurden die Wunden mit einer Wundspüllösung gereinigt und anschließend in Abhängigkeit von der Wundart mit einem Schaumstoffverband oder einer Kombination aus Alginate oder Gel und Schaumstoffverband abgedeckt (Tab. 1). Ein Patient mit vorbestehender Pilzinfektion wurde mit einem Antimykotikum behandelt. Ferner erhielten Patienten mit *Ulcus cruris venosum* und *-mixtum* eine begleitende Kompressionstherapie mit Kurzzugbandagen. Ein Patient trug nach Amputation des Unterschenkels eine Prothese. Bei diesem Patienten lag ein Dekubitus vor, welcher mittels Druckentlastung begleitend behandelt wurde.

Behandlungsumstellung auf eine keramische Wundaufgabe

Die Wunden wurden zunächst mit antimikrobiellen Wundspüllösungen gereinigt und anschließend mit einer keramischen Wundaufgabe (Cerdak™, Cerdak Ltd., Mtunzini, Südafrika) abgedeckt. Eine Saugkomresse diente als sekundäre Wundaufgabe. Die *Baseline*-Charakteristika der einzelnen Wunden wurden zu Behandlungsbeginn (Tag 1)

erfasst. Der Heilungsprozess und die Wirksamkeit der keramischen Wundaufgabe bei der Kontrolle der Infektion wurden im Rahmen der Verbandswechsel mittels eines FI-Handgerätes beurteilt. Die Bewertung der Wunden erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten bis zum Abklingen der bakteriellen Infektion, in Abhängigkeit der jeweiligen Wundmerkmale.

Messung der Keimbelastung in den Wunden

Der Nachweis und die Messung der Keimbelastung in den chronischen Wunden erfolgten kontaktlos durch Fluoreszenzbildgebung mit Hilfe des FI-Handgerätes (Moleculight™, Moleculight, Inc. Toronto, Kanada). Die in der Wunde vorliegenden Bakterien fluoreszierten dabei Rot oder Blaugrün (Cyan) und hoben sich daher vom Grünfluoreszierenden Wundgewebe ab. Auf diese Weise war der Echtzeit-Nachweis und die Lokalisierung der Keimbelastung ($\geq 10^4$ koloniebildende Einheiten [KBE]/g) im Wundbett und der Wundumgebung möglich.

Ergebnisse

Bei 4 von insgesamt 6 Patienten (Tab. 1, Patienten #1-4) gab es zunächst aufgrund der visuellen Untersuchung der Wunde keinen Hinweis auf eine bakterielle Infektion. Durch die weitere Beurteilung der Wunden mit dem FI-Handgerät konnte bei diesen Patienten allerdings eine Besiedelung der Wunde oder der Wundumgebung mit Bakterien festgestellt werden. Aufgrund dieses Befunds wurde die Wundbehandlung jeweils umgestellt, und es erfolgte der Einsatz der keramischen Wundaufgabe bereits vor dem Auftreten von ersten klinisch sichtbaren Entzündungszeichen.

Bei 2 Patienten (Tab. 1, Patienten #5+6) waren zu Behandlungsbeginn bereits klinische Anzeichen einer Infektion sichtbar. Aufgrund der massiven Bakterienlast, welche mittels FI bestätigt wurde, erfolgte die Behandlung mit der keramischen Wundaufgabe. Die Wirksamkeit der Wundaufgabe wurde dabei regelmäßig im Verlauf der Behandlung mittels FI dokumentiert, sodass es möglich war, bereits frühzeitig den Behandlungserfolg anhand der Reduktion der bakteriellen Besiedelung zu überwachen.

Insgesamt konnte bei 5 Patienten bereits nach 2-3 Tagen eine Reduktion der Bakterienlast verzeichnet werden. Bei sämtlichen Wunden waren nach 5 bis maximal 14 Behandlungstagen (im Median 7 Tage) wenige (Patienten #1 und

4) bis keine Bakterien (Patienten #2, 3, 5 und 6) in den Wunden oder der Wundumgebung mittels FI mehr nachweisbar. Exemplarisch wird nachfolgend der positive Heilungsverlauf bei 4 Patienten dargestellt.

Fallbericht 1: Patient mit *Ulcus cruris mixtum* am Unterschenkel

Der 70-jährige Patient (Tab. 1, Patient #2) wies ein seit 13 Wochen bestehendes *Ulcus cruris mixtum* am Unterschenkel auf. Die bisherige Behandlung der Wunde umfasste die Reinigung mit einer Wundspüllösung sowie die Abdeckung mit einer Kombination aus Alginat und Schaumstoffverband. Unter dieser Behandlung stellte sich allerdings kein Heilungserfolg ein. Durch Einsatz des FI-Handgerätes konnte dann eine massive Bakterienbesiedelung, insbesondere am Wundrand, nachgewiesen werden, die als rote Fluoreszenz sichtbar war (Abb. 3a). Aufgrund der Infektion wurde die Wunde mit der keramischen Wundauflage weiterbehandelt.

Bereits 3 Tage nach Behandlungsbeginn war das Wundbett frei von Bakterien, und am Wundrand konnte mittels FI ein deutlicher Rückgang der Bakterienlast verzeichnet werden (Abb. 3b). Nach 5 und 7 Tagen (Abb. 3c) wurde mittels FI eine weitere Reduktion der Bakterienbesiedelung am Wundrand festgestellt. Ferner waren an Tag 7 ein Debridement der Wunde durch die keramische Wundauflage sowie der Beginn der Wundgranulation zu diesem Zeitpunkt optisch sichtbar. Am 9. Behandlungstag waren in der Wunde keine Bakterien mittels FI mehr detektierbar (Abb. 3d).

Fallbericht 2: Patient mit *Ulcus cruris venosum* am rechten Unterschenkel

Das seit 13 Wochen bestehende, am rechten Unterschenkel oberhalb des Außenknöchels lokalisierte *Ulcus cruris venosum* eines 56-jährigen Patienten (Tab. 1, Patient #3) zeigte trotz einer bisherigen Wundreinigung mit Wundspüllösung und der Abdeckung mit Schaumstoffverband keinen Heilungserfolg. Im Rahmen der Untersuchung mit dem FI-Handgerät konnte eine bakterielle Besiedelung vor allem am Wundrand unter den Hautschuppen als hellrote Fluoreszenz detektiert werden (Abb. 4a). Aufgrund des Nachweises der bakteriellen Infektion der Wunde wurde die Behandlung mit der keramischen Wundauflage begonnen. Drei Tage nach Behandlungsbeginn konnte mittels FI eine erhebliche Abnahme der Bakterienbesiedelung

beobachtet werden (Abb. 4b). Ferner war auch die Wundumgebung deutlich vitaler als zu Behandlungsbeginn. Bereits an Tag 5 wurden in der Wunde keine Bakterien mehr nachgewiesen und die Heilung schritt voran (Abb. 4c).

Fallbericht 3: Patient mit vorbestehender Pilzinfektion an den Zehen
Der 54-jährige Patient (Tab. 1, Patient #4) wies eine seit einer Woche bestehende Wunde an den Zehen aufgrund einer Pilzinfektion auf. Trotz Behandlung mit einem Antimykotikum heilte die Wunde nicht ab. Während die Wunde optisch deutliche Anzeichen einer Pilzinfektion aufwies, konnte mittels FI allerdings zusätzlich eine massive Besiedelung der Wunde mit Gram-positiven und Gram-negativen Bakterien festgestellt werden, die Rot und Blaugrün fluoreszierten (Abb. 5a). Aufgrund dieser Diagnose wurde das Antimykotikum abgesetzt und die Wunde mit der keramischen Wundauflage behandelt. Bereits an Behandlungstag 3 war deutlich weniger Wundexsudat sichtbar (Abb. 5b). Ferner konnte mittels FI ein deutlicher Rückgang der Bakterienlast verzeichnet werden. An Tag 5 hatte sich der Wundzustand optisch insgesamt deutlich verbessert (Abb. 5c). Zu diesem Zeitpunkt wurde mittels FI lediglich noch eine geringe bakterielle Besiedelung unter den Hautschuppen nachgewiesen.

Fallbericht 4: Patientin mit *Ulcus cruris venosum* am Außenknöchel

Die chronische Wunde (*Ulcus cruris venosum*) am Außenknöchel der 76-jährigen Patientin (Tab. 1, Patient #6) bestand bereits seit 35 Wochen. Unter den bisherigen Maßnahmen, welche die Reinigung der Wunde mit Wundspüllösung und die Abdeckung mit Gel und Schaumstoffverband umfassten, führten nicht zur Heilung der Wunde. Die Wunde wies deutliche klinische Anzeichen einer Infektion auf (Abb. 6a). Insbesondere in der Wundumgebung konnte mittels FI eine massive Bakterienlast nachgewiesen werden. Aufgrund dieser Diagnose wurde die keramische Wundauflage eingesetzt. Nach 3 Tagen zeichnete sich bereits ein Heilungserfolg ab. So konnte eine deutliche Verbesserung des Hautzustandes beobachtet werden (Abb. 6b). Ferner hatte auch die Bakterienlast in der Wundumgebung deutlich abgenommen. An Tag 5 waren die Hautverhältnisse in der Wunde stabil (Abb. 6c). Zu diesem Zeitpunkt wurden in der Wundumgebung nur noch wenige Bakterien mit dem FI-Handgerät nachgewiesen. Nach 7 Tagen unter

Behandlung mit der keramischen Wundauflage hatte sich der Wundzustand erheblich verbessert und es wurden keine Bakterien in der Wunde mehr nachgewiesen (Abb. 6d).

Diskussion

Die Behandlung chronischer Wunden ist für Wundpflegefachkräfte nach wie vor eine große Herausforderung. Während sich die Wundbeurteilung und somit auch die Therapieentscheidung überwiegend auf visuell erkennbare klinische Anzeichen und Symptome stützen, bleiben die Heilung störende Faktoren, wie Infektionen, oft unerkannt [10-15, 43]. In diesem Zusammenhang konnte bereits in früheren Studien gezeigt werden, dass die Anwesenheit bestimmter Bakterien im Wundbett Einfluss auf die Bestehensdauer und Größe der Wunde haben [21, 22]. Grundvoraussetzung für ein optimales Wundmanagement ist somit neben der adäquaten phasengerechten Behandlung die frühzeitige Erkennung einer Wundinfektion, sodass antimikrobielle Maßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden können [9, 17]. Zur Infektionskontrolle im Wundbett stellt die in dieser Pilot-Fallserie kombinierte Anwendung einer hochwirksamen keramischen Wundauflage zusammen mit der FI-Methode zur frühen Detektion infizierter Wunden eine innovative und einzigartige Herangehensweise dar. Im Rahmen dieser Pilot-Fallserie konnte dabei erstmalig gezeigt werden, dass durch diese Kombination ein optimiertes Wundmanagement infizierter chronischer Wunden erzielt werden kann.

Die keramische Wundauflage stellt eine effektive Behandlungsoption dar, um Exsudatmengen im Wundbett zu kontrollieren sowie Bakterien und schädliche Stoffe aus der Wunde zu entfernen [36, 37]. Dabei sind insbesondere die inerten Eigenschaften der Wundauflage von Vorteil und tragen so auch zu einer guten Verträglichkeit bei. Während es bei Präparaten mit Silber oder Iod Hinweise auf eine zytotoxische Wirkung gibt oder Kontaktsensibilisierungen auftreten, werden durch die keramische Wundauflage keine Bestandteile an den Organismus abgegeben [24, 33-35, 37, 39]. Ferner weist die Wundauflage selbst keine antibakterielle Aktivität auf, sodass negative Effekte, wie eine vermehrte Ausschüttung von Endotoxinen, welche durch die Zerstörung von bakteriellen Zellen durch manche Antibiotika hervorgerufen wird, vermieden werden [32, 38]. Stattdessen werden im Wundexsudat vorliegende Endotoxine

durch die kapillare Saugwirkung des Keramikgranulats kontinuierlich aus der Wunde entfernt und in der Wundaufgabe gebunden [38].

Im Rahmen der vorliegenden Pilot-Fallserie wurde die effektive Wirkung der keramischen Wundaufgabe hinsichtlich der Reduktion der Bakterienlast im Wundbett und der Wundumgebung mittels FI bestätigt. So führte die Anwendung der Wundaufgabe innerhalb weniger Tage zu einer erheblichen Reduktion der Bakterienlast bei allen untersuchten Wunden, wobei dieser Effekt nicht nur im Wundbett sondern auch in der Wundumgebung mittels FI sichtbar war. Ferner hatte die kontinuierliche Aufnahme von Wundexsudat einen schützenden Effekt auf die Wunden, sodass die Heilung durch die Wundaufgabe gefördert wurde und sich der Zustand sämtlicher Wunden rasch verbesserte. Dies wird insbesondere am Beispiel von Patient #6 mit einem seit mehreren Monaten bestehenden, massiv mit Bakterien besiedelten *Ulcus cruris venosum* deutlich, da durch den Einsatz der Wundaufgabe bereits nach 3 Tagen eine deutliche Verbesserung des Hautzustandes beobachtet werden konnte und die Bakterienlast deutlich reduziert war.

Für ein gezieltes Wundmanagement ist allerdings zunächst der Nachweis einer bakteriellen Infektion im Wundbett oder der Wundumgebung erforderlich, um anschließend effektive Maßnahmen zur Infektionskontrolle einzusetzen. Zudem gilt es, den richtigen Zeitpunkt zu erkennen an dem eine antiinfektiöse Maßnahme nicht mehr nötig ist. Während klinische Zeichen einer Infektion nicht standardisiert auftreten und auch falsch interpretiert werden können, sind die zusätzlich zeitweise angewendeten mikrobiologischen Nachweise von Bakterien im Wundbett kostspielig, fehleranfällig und zeitaufwendig. Was nun den Zeitpunkt der Beendigung der antiinfektiösen Therapie angeht, hängen klinische Zeichen der Infektion meist der effektiven und wirksamen Bakterienreduktion nach, was zu teuren und aufwendigen bzw. unnötig langen Therapiezeiten führen kann. Hier ermöglicht das FI-Handgerät einen nichtinvasiven Echtzeit-Nachweis der Bakterienbesiedelung in der Wunde [11, 13, 17, 23]. Für das Wundmanagement bedeutet dies, dass bei einer bakteriellen Besiedelung des Wundbetts unmittelbar mit einer zielgerichteten und effektiven Infektionskontrolle begonnen werden kann, ohne dass auf Ergebnisse labordiagnostischer Untersuchungen gewartet werden muss oder diese

aufgrund fehlender Anzeichen einer Infektion gar nicht erst durchgeführt werden. Gleichzeitig werden durch frühzeitige Maßnahmen zur Infektionskontrolle - zu einem Zeitpunkt, an dem eine Wundinfektion noch nicht ersichtlich ist - weitere langfristige Komplikationen aufgrund des Fortschreitens der Wundinfektion wie auch zu lange Therapiezeiten vermieden. Im Rahmen einer britischen retrospektiven Studie wurde der positive Effekt des routinemäßigen Einsatzes des FI-Handgerätes bei der Versorgung von 229 Fußulcera untersucht [44]. Durch den Einsatz des FI-Handgerätes senkten sich die jährlichen Kosten für antimikrobielle Wundaufgaben um 33%. Ferner wurden jährlich deutlich weniger antimikrobielle Wundaufgaben (-49%) und Antibiotika (-33%) verschrieben. Gleichzeitig erhöhte sich die 12-Wochen-Heilungsrate um 23%, was die Autoren auf den frühzeitigen Nachweis der bakteriellen Besiedelung der Wunden sowie verbesserte Hygienemaßnahmen zurückführten [44]. Auch in einer multizentrischen, kontrollierten Studie an 350 Patienten mit Wunden unterschiedlicher Genese konnte der überlegene Nutzen des FI-Handgerätes gegenüber der Wundbeurteilung auf Basis optisch sichtbarer klinischer Anzeichen und Symptome festgestellt werden [43]. So wurden mittels visueller Bewertung 85% der infizierten Wunden nicht als solche identifiziert. Der Einsatz des FI-Handgerätes führte in dieser Studie bei 69% der Fälle zu einer Anpassung des Behandlungsplans und hatte bei 85% der Fälle Einfluss auf die Wundbettvorbereitung. Ferner zeigte sich ein positiver Nutzen der FI-Technik auch in Kombination mit verschiedenen anderen Verfahren im Rahmen des Wundmanagements, wie beispielsweise Vakuumtherapie, Debridement oder Kaltplasma [45-47].

Ähnlich positive Effekte konnten durch den kombinierten Einsatz der keramischen Wundaufgabe und des FI-Handgerätes auch im Rahmen der vorliegenden Pilot-Fallserie beobachtet werden. In 4 Fällen wurde auf Basis der visuellen Wundbewertung zunächst keine bakterielle Infektion festgestellt (Patienten #1-4). Erst der Einsatz des FI-Handgerätes führte zum Nachweis der bakteriellen Wundbesiedelung und zur Entscheidung, die keramische Wundaufgabe zur Kontrolle der Bakterienlast in der Wunde zu verwenden. Dies wird am Beispiel von Patient #4 besonders deutlich, da in diesem Fall die optisch sichtbaren klinischen Anzeichen und Symptome

ausschließlich auf eine Pilzinfektion hindeuteten. Der Wundzustand verbesserte sich erheblich, nachdem mittels FI zusätzlich eine massive bakterielle Infektion festgestellt worden war und aufgrund dieses Befunds die keramische Wundaufgabe verwendet wurde. Bereits nach 3 Tagen konnte sowohl eine Reduktion des Wundexsudates als auch der Bakterienlast beobachtet werden. Ferner wird am Beispiel von Patient #4 deutlich, dass die keramische Wundaufgabe sowohl bei Gram-positiven als auch Gram-negativen Bakterien wirksam ist. Auch bei Patient #3 war eine bakterielle Besiedelung der Wunde zum Zeitpunkt der Wundbeurteilung erst durch FI nachweisbar. So kam es in diesem Fall zu einem frühen Einsatz der keramischen Wundaufgabe: Bereits nach 5 Behandlungstagen waren aufgrund der positiven Wirkung der Wundaufgabe keine Bakterien in der Wunde mehr nachweisbar und die zuvor stagnierende Heilung schritt voran.

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse dieser Pilot-Fallserie die positive Wirkung der keramischen Wundaufgabe bei der Infektionskontrolle infizierter chronischer Wunden unterschiedlichster Genese sowie bei der Heilungsförderung. Dabei konnte zudem der Nutzen des FI-Handgerätes als geeignetes Diagnostikinstrument zur Erkennung von Wundinfektionen bestätigt werden. Die vorliegende Pilot-Fallserie zeigt, dass die Kombination aus FI und der hochwirksamen keramischen Wundaufgabe für die Anwendung in der täglichen Routine-Wundversorgung geeignet sind. Dabei können der frühzeitige Beginn einer effektiven Infektionskontrolle, die zeitnahe Information über die Wirksamkeit der gewählten Behandlung sowie die effektive Wirkung der keramischen Wundaufgabe zu einer Einsparung von gesundheitsökonomischen Ressourcen führen.

Ausblick

Der hier angewendete kombinierte Einsatz der effektiven keramischen Wundaufgabe zur Infektionskontrolle zusammen mit dem FI-Handgerät zum Nachweis der bakteriellen Besiedelung in chronischen Wunden stellt einen innovativen und neuen Zugang zur Bewertung der Wirksamkeit von Wundaufgaben dar. Durch die Visualisierung der Bakterienlast ist die effektive Wirksamkeit der Wundaufgaben direkt nachweisbar, sodass Fortschreiten der Infektion, trotz Einsatz antimikrobieller Maßnahmen, die

Behandlung frühzeitig angepasst werden kann. Dieser Ansatz ist darüber hinaus aufgrund der einfachen Anwendung im klinischen Alltag leicht implementierbar und kann zur Einsparung von Kosten führen. Um diese Kostenersparnis zu quantifizieren, wäre zu einem späteren Zeitpunkt die Durchführung einer Kostenmodellierung sinnvoll.

Die effektive Wirksamkeit der keramischen Wundaufgabe hinsichtlich der Reduktion der Bakterienlast sowie der heilungsfördernden Effekte konnte im Rahmen dieser Fallserie nachgewiesen werden. Da es sich bei der vorliegenden Studie um eine Pilot-Fallserie mit nur 6 Patienten handelt, wird allerdings nicht die Aussagekraft einer randomisierten kontrollierten Studie erreicht. Dennoch spiegeln Erfahrungsberichte aus der klinischen Praxis reale Alltagsbedingungen wider und stellen somit einen wertvollen Beitrag zur klinischen Beurteilung einer Behandlungsoption dar. Um die Wirksamkeit und Sicherheit der keramischen Wundaufgabe weiter zu untersuchen, ist eine breit angelegte Studie mit mehr Patienten erforderlich. Die FI-Methode könnte dabei mikrobiologische Tests ersetzen und auf diese Weise die Untersuchung der Wirksamkeit vereinfachen. Im Rahmen dieser Fallserie beschränkte sich die Anwendung der keramischen Wundaufgabe auf chronische Wunden, daher ist die Durchführung weiterer Studien auch mit anderen Wundarten sinnvoll. Ferner sollten im Verlauf dieser Studien auch Daten zur Lebensqualität, insbesondere von Patienten mit chronischen Wunden, erhoben werden.

Meldung von Interessenskonflikten

Die Fallserie wurde durch die Firma LIMBECK Medizinische Spezialartikel finanziert. Zudem ist Herr Strohal als Konsultent für die Firmen LIMBECK Medizinische Spezialartikel und MolecuLight Inc. tätig.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Frau Dr. Veronika Schneck und Frau Dr. Andrea Rathmann-Schmitz (Bonn, Deutschland) für die Unterstützung und kritische Durchsicht des Manuskripts im Rahmen der Publikationserstellung.

Literatur

- Martinengo L, Olsson M, Bajpai R et al., Prevalence of chronic wounds in the general population: systematic review and meta-analysis of observational studies. *Ann Epidemiol* 2019; 29: 8-15.
- Strohal R, Umfrage zur Wundsituation in Österreich, data on file. 2018.
- Bowers S, Franco E, Chronic Wounds: Evaluation and Management. *Am Fam Physician* 2020; 101 (3): 159-166.
- Purwins S, Herberger K, Debus ES et al., Cost-of-illness of chronic leg ulcers in Germany. *Int Wound J* 2010; 7 (2): 97-102.
- Phillips CJ, Humphreys I, Fletcher J, Harding K, Chamberlain G, Macey S, Estimating the costs associated with the management of patients with chronic wounds using linked routine data. *Int Wound J* 2016; 13 (6): 1193-1197.
- Guest JF, Ayoub N, McIlwraith T et al., Health economic burden that different wound types impose on the UK's National Health Service. *Int Wound J* 2017; 14 (2): 322-330.
- Frykberg RG, Banks J, Challenges in the Treatment of Chronic Wounds. *Adv Wound Care (New Rochelle)* 2015; 4 (9): 560-582.
- Nussbaum SR, Carter MJ, Fife CE et al., An Economic Evaluation of the Impact, Cost, and Medicare Policy Implications of Chronic Nonhealing Wounds. *Value Health* 2018; 21 (1): 27-32.
- Dissemond J, Assenheimer B, Engels P et al., M.O.I.S.T. - ein Konzept für die Lokalthherapie chronischer Wunden. *J Dtsch Dermatol Ges* 2017; 15 (4): 443-445.
- Dissemond J, Bültemann A, Gerber V, B. Jäger, Kröger K, Münter C, Standards des ICW e. V. für die Diagnostik und Therapie chronischer Wunden. *Wund Management* 2017; 11 (2): 81-86.
- Kingsley A, The wound infection continuum and its application to clinical practice. *Ostomy Wound Manage* 2003; 49 (7A Suppl): 1-7.
- Grey JE, Enoch S, Harding KG, Wound assessment. *BMJ* 2006; 332 (7536): 285-8.
- Rennie MY, Dunham D, Lindvere-Teene L, Raizman R, Hill R, Linden R, Understanding Real-Time Fluorescence Signals from Bacteria and Wound Tissues Observed with the MolecuLight i:X(TM). *Diagnostics (Basel)* 2019; 9 (1).
- Bui UT, Finlayson K, Edwards H, The diagnosis of infection in chronic leg ulcers: A narrative review on clinical practice. *Int Wound J* 2019; 16 (3): 601-620.
- Dissemond J, Gerber V, Lobmann R et al., Therapeutic index for local infections score (TILI): a new diagnostic tool. *J Wound Care* 2020; 29 (12): 720-726.
- Jones EM, Cochrane CA, Percival SL, The Effect of pH on the Extracellular Matrix and Biofilms. *Adv Wound Care (New Rochelle)* 2015; 4 (7): 431-439.
- Bowler PG, Duerden BI, Armstrong DG, Wound microbiology and associated approaches to wound management. *Clin Microbiol Rev* 2001; 14 (2): 244-69.
- Ovington L, Bacterial toxins and wound healing. *Ostomy Wound Management* 2003; 49 (7A Suppl): 8-12.
- Konturek PC, Brzozowski T, Konturek SJ, Kwiecien S, Dembinski A, Hahn EG, Influence of bacterial lipopolysaccharide on healing of chronic experimental ulcer in rat. *Scand J Gastroenterol* 2001; 36 (12): 1239-47.
- Metzger Z, Nitzan D, Pitaru S, Brosh T, Teicher S, The effect of bacterial endotoxin on the early tensile strength of healing surgical wounds. *J Endod* 2002; 28 (1): 30-3.
- Dissemond J, Besiedelung oder Infektion des chronischen Ulcus cruris: Aktuelles Keimspektrum und Resistenzlage. *Vasomed* 2016; 28 (5): 237-238.
- Verbanic S, Shen Y, Lee J, Deacon JM, Chen IA, Microbial predictors of healing and short-term effect of debridement on the microbiome of chronic wounds. *NPJ Biofilms Microbiomes* 2020; 6 (1): 21.
- Kallstrom G, Are quantitative bacterial wound cultures useful? *J Clin Microbiol* 2014; 52 (8): 2753-6.
- Sondermann W, Dissemond J, Klinische Bedeutung von Bakterien beim chronischen Ulcus cruris. *Aktuelle Dermatologie* 2014; 40 (12): 523-527.
- Hill R, Rennie M, Douglas J, Using Bacterial Fluorescence Imaging and Antimicrobial Stewardship to Guide Wound Management Practices: A Case Series. *Ostomy Wound Management* 2018; 64 (8): 18-28.
- DaCosta RS, Kulbatski I, Lindvere-Teene L et al., Point-of-care autofluorescence imaging for real-time sampling and treatment guidance of bioburden in chronic wounds: first-in-human results. *PLoS One* 2015; 10 (3): e0116623.
- Rennie MY, Lindvere-Teene L, Tapang K, Linden R, Point-of-care fluorescence imaging predicts the presence of pathogenic bacteria in wounds: a clinical study. *J Wound Care* 2017; 26 (8): 452-460.
- Wu YC, Smith M, Chu A et al., Handheld fluorescence imaging device detects subclinical wound infection in an asymptomatic patient with chronic diabetic foot ulcer: a case report. *Int Wound J* 2016; 13 (4): 449-53.
- Blumenthal E, Jeffery S, Autofluorescence Imaging for Evaluating Debridement in Military and Trauma Wounds. *Mil Med* 2018; 183 (suppl_1): 429-432.
- Negut I, Grumezescu V, Grumezescu AM, Treatment Strategies for Infected Wounds. *Molecules* 2018; 23 (9).
- O'Meara S, Al-Kurdi D, Ologun Y, Ovington LG, Martyn-St James M, Richardson R, Antibiotics and antiseptics for venous leg ulcers. *Cochrane Database Syst Rev* 2013 (12): CD003557.
- Lepper PM, Held TK, Schneider EM, Bolke E, Gerlach H, Trautmann M, Clinical implications of antibiotic-induced endotoxin release in septic shock. *Intensive Care Med* 2002; 28 (7): 824-33.
- Zou SB, Yoon WY, Han SK, Jeong SH, Cui ZJ, Kim WK, Cytotoxicity of silver dressings on diabetic fibroblasts. *Int Wound J* 2013; 10 (3): 306-12.
- Tsang KK, Kwong EW, Woo KY, To TS, Chung JW, Wong TK, The Anti-Inflammatory and Antibacterial Action of Nanocrystalline Silver and Manuka Honey on the Molecular Alteration of Diabetic Foot Ulcer: A Comprehensive Literature Review. *Evid Based Complement Alternat Med* 2015; 2015: 218283.
- Kim TH, Kim M, Park HS, Shin US, Gong MS, Kim HW, Size-dependent cellular

- toxicity of silver nanoparticles. *J Biomed Mater Res A* 2012; 100 (4): 1033-43.
36. **Weller C, Sussman G**, Wound Dressings Update. *Journal of Pharmacy Practice and Research* 2006; 36 (4): 318-324.
 37. **Cerdak (Pty) Ltd**, Cerdak Ceramic Wound Dressing: Technical Information. 2014 [cited 2021 09.02.2021]; Available from: <https://www.cerdak.co.za/Technical-Information/>.
 38. **Opoku AR, Sithole SS, Mthimkhulu NP, Nel W**, The endotoxin binding and antioxidative properties of ceramic granules. *J Wound Care* 2007; 16 (6): 271-4.
 39. **Baino F, Novajra G, Vitale-Brovarone C**, Bioceramics and Scaffolds: A Winning Combination for Tissue Engineering. *Front Bioeng Biotechnol* 2015; 3: 202.
 40. **Kesavan R**, The Effectiveness of Ceramics for Treatment of Diabetic Foot Ulcers Infected With Multidrug-resistant Bacteria. *Medical Chronicle* 2008: 50.
 41. **Glik J, Kawecki MS, Dziurzyńska I, Kawecki MP, Nowak M**, The use of bioceramic dressing in treatment of chronic wounds – case report. *Infections* 2015; 2 (2015): 1-6.
 42. **Táborská J**, Bioceramics in the treatment of chronic wounds – case study; Poster EP596, in European Woundmanagement Association (EWMA. 2018, EWMA: Krakau, Polen.
 43. **Le L, Baer M, Briggs P et al.**, Diagnostic Accuracy of Point-of-Care Fluorescence Imaging for the Detection of Bacterial Burden in Wounds: Results from the 350-Patient Fluorescence Imaging Assessment and Guidance Trial. *Adv Wound Care (New Rochelle)* 2020.
 44. **Price N**, Routine Fluorescence Imaging to Detect Wound Bacteria Reduces Antibiotic Use and Antimicrobial Dressing Expenditure While Improving Healing Rates: Retrospective Analysis of 229 Foot Ulcers. *Diagnostics (Basel)* 2020; 10 (11).
 45. **Cole W, Coe S**, Use of a bacterial fluorescence imaging system to target wound debridement and accelerate healing: a pilot study. *J Wound Care* 2020; 29 (Sup7): S44-S52.
 46. **Moelleken M, Jockenhofer F, Wiegand C, Buer J, Benson S, Dissemond J**, Pilot study on the influence of cold atmospheric plasma on bacterial contamination and healing tendency of chronic wounds. *J Dtsch Dermatol Ges* 2020; 18 (10): 1094-1101.
 47. **Raizman R**, Fluorescence imaging guided dressing change frequency during negative pressure wound therapy: a case series. *J Wound Care* 2019; 28 (Sup9): S28-S37.

Prim. Univ.-Prof. Dr. med Robert Strohal

Landeskrankenhaus Feldkirch, Abteilung für Dermatologie und Venerologie, Carinagasse 45-47, 6800 Feldkirch, Österreich

Zertifizierter Wundmanager Gilbert Hämmerle

Wundambulanz, LKH Bregenz, Carl-Pedenz-Straße 2, 6900 Bregenz, Österreich

Tabellen

Tabelle 1: Übersicht zur Wundentwicklung bei 6 Patienten mit chronischen Wunden.

Patient [#]	Diagnose	Lokalisation	Dauer der Wunde [Wochen]	Vorherige Behandlung	Zustand zu Behandlungsbeginn	Wundentwicklung mit keramischer Wundauflage	Dauer bis zum Abklingen der Infektion [Tage]
1	Dekubitus nach Amputation Unterschenkel	Amputationsbereich	52	Wundspüllösung, Schaumstoffverband	Erhöhte Bakterienlast, insbesondere in der Wundumgebung	Erhebliche Abnahme der bakteriellen Besiedelung am Wundrand und -grund; Verhornung der Wundränder	7
2	<i>Ulcus cruris mixtum</i>	Unterschenkel	13	Wundspüllösung, Alginat und Schaumstoffverband	Massive Bakterienbesiedelung, insbesondere am Wundrand	Kein Nachweis von Bakterien am Wundrand und -grund; Wundgrund weniger belegt und granulierend	9
3	<i>Ulcus cruris venosum</i>	Rechter Unterschenkel oberhalb des Außenknöchels	13	Wundspüllösung, Schaumstoffverband	Bakterienbesiedelung vor allem am Wundrand unter den Hautschuppen	Kein Nachweis von Bakterien	5
4	Vorbestehende Pilzinfektion	Zehen	1	Antimykotikum	Bakterienbesiedelung mit Gram+ und Gram-Bakterien	Deutliche Verbesserung des Wundzustandes; Nachweis von Bakterien ausschließlich unter den Hautschuppen	5
5	<i>Ulcus cruris venosum</i> nach Cellulitis (chronische Veneninsuffizienz)	Vorfuß	4	Wundspüllösung, Alginat und Schaumstoffverband	Belegte, exsudierende, schmerzende Wunde; erhöhte Bakterienlast insbesondere in der Wundumgebung	Kein Nachweis von Bakterien; rasch fortschreitende Epithelisierung	14
6	<i>Ulcus cruris venosum</i>	Außenknöchel	35	Wundspüllösung, Gel und Schaumstoffverband	Massive Bakterienbesiedelung insbesondere in der Wundumgebung	Kein Nachweis von Bakterien; deutliche Verbesserung des Wundzustandes	7

Abbildungen

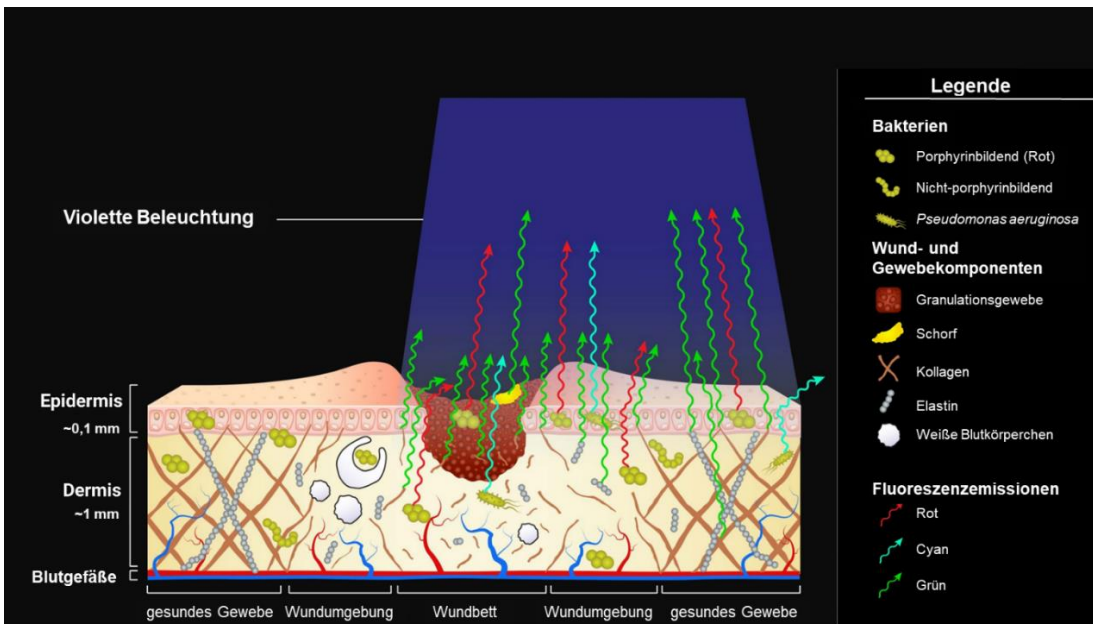


Abbildung 1 Schematische Darstellung des Echtzeit-Nachweises einer bakteriellen Besiedelung im Wundbett und der Wundumgebung mittels Fluoreszenzbildgebung; modifiziert nach Rennie et al. 2019 [13]

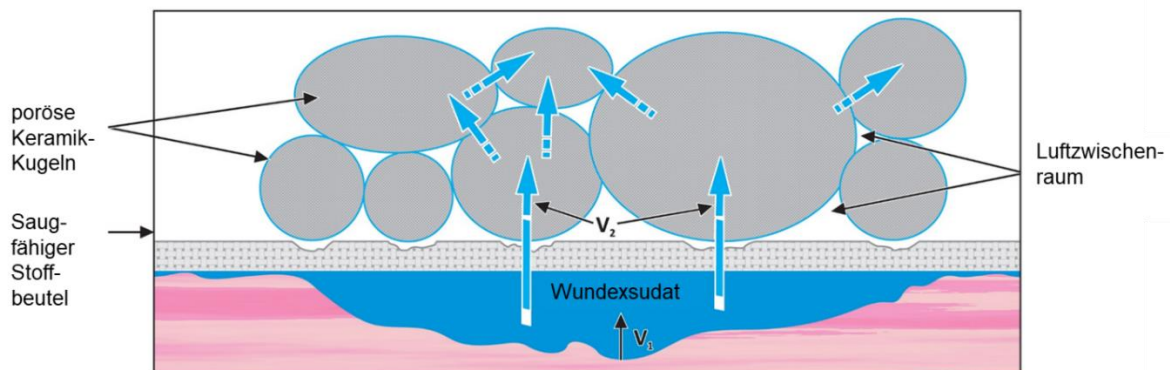


Abbildung 2 Schematische Darstellung des Aufbaus und Wirkmechanismus der keramischen Wundauflage; Abbildung mit freundlicher Genehmigung der Fa. Cerdak Ltd. (modifiziert nach Mtunzini, Südafrika)



Abbildung 3 Therapieverlauf eines seit 13 Wochen bestehenden Ulcus cruris mixtum am Unterschenkel nach Anwendung einer keramischen Wundauflage (Patient #2); visuelle Bewertung (oben) als auch mittels FI-Handgerät (unten) zum Nachweis der bakteriellen Besiedelung (rote Fluoreszenz); a: Wundzustand zu Behandlungsbeginn (Tag 1), b: an Tag 3, c: an Tag 7, d: an Tag 9.

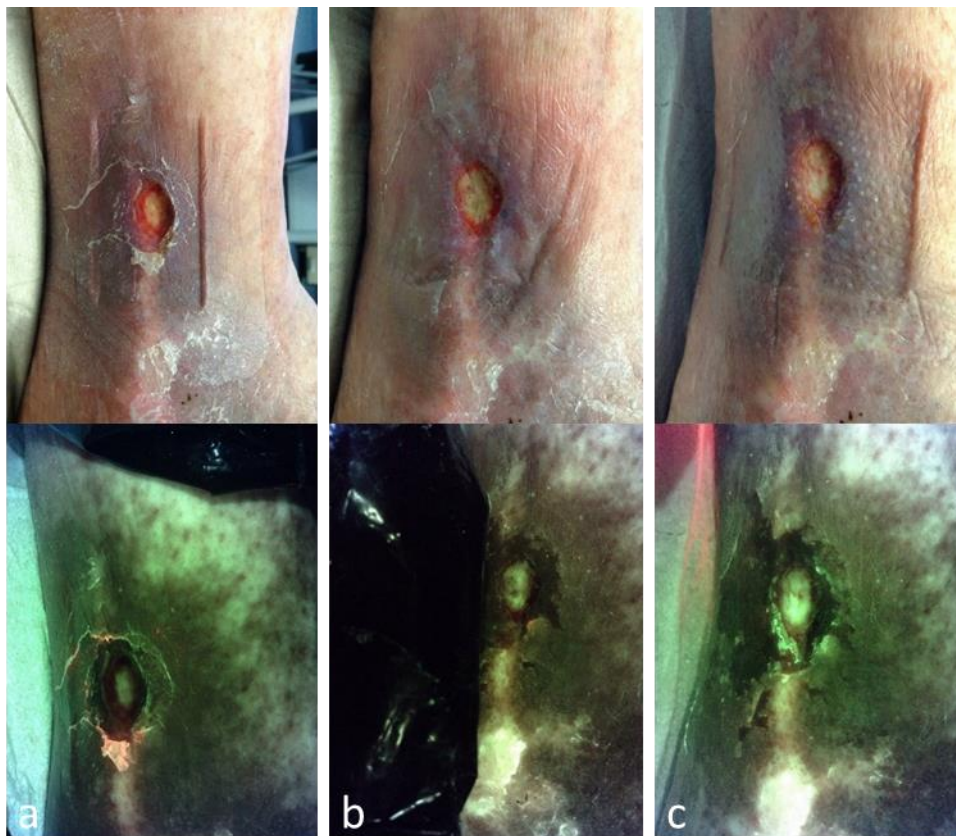


Abbildung 4 Therapieverlauf eines seit 13 Wochen bestehenden Ulcus cruris venosum am rechten Unterschenkel unter Behandlung mit einer keramischen Wundauflage (Patient #3); visuelle Bewertung (oben) als auch mittels FI-Handgerät (unten) zum Nachweis der bakteriellen Besiedelung (hellrote Fluoreszenz); a: Wundzustand zu Behandlungsbeginn (Tag 1), b: an Tag 3, c: an Tag 5.

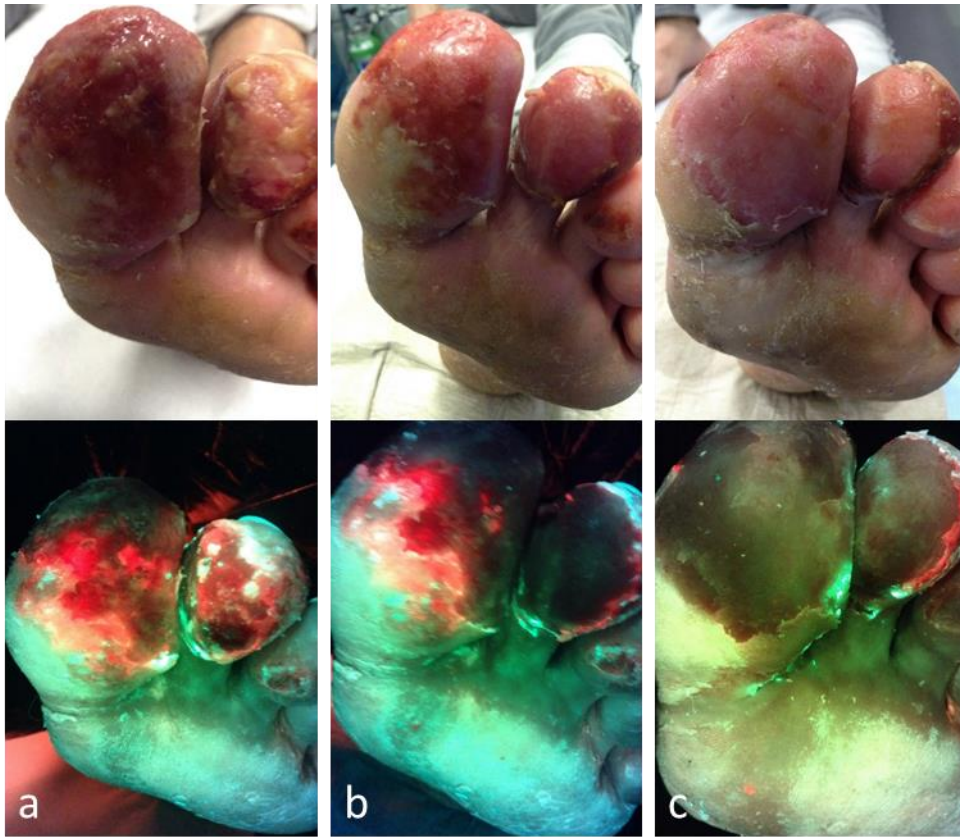


Abbildung 5 Therapieverlauf einer seit 1 Woche bestehenden Wunde an den Zehen aufgrund einer Pilzinfektion unter Behandlung mit einer keramischen Wundauflage (Patient #4); visuelle Bewertung (oben) als auch mittels FI-Handgerät (unten) zum Nachweis der bakteriellen Besiedelung (rote und blaugüne Fluoreszenz); a: Wundzustand zu Behandlungsbeginn (Tag 1), b: an Tag 3, c: an Tag 5.

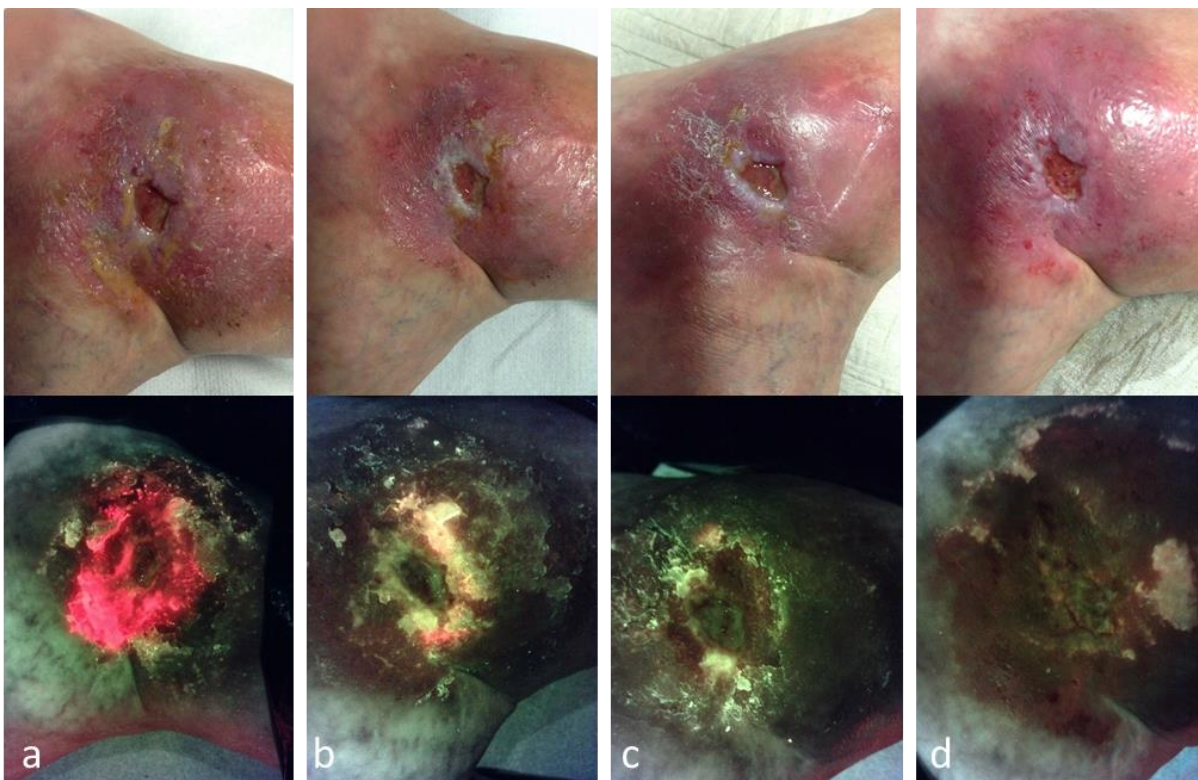


Abbildung 6 Therapieverlauf eines seit 35 Wochen bestehenden Ulcus cruris venosum am Außenknöchel unter Behandlung mit einer keramischen Wundauflage (Patient #6); visuelle Bewertung (oben) als auch mittels FI-Handgerät (unten) zum Nachweis der bakteriellen Besiedelung (rote Fluoreszenz); a: Wundzustand zu Behandlungsbeginn (Tag 1), b: an Tag 3, c: an Tag 5, d: an Tag 7.

