

Einleitung

Im Laufe des vergangenen Jahrzehnts ist die Anwendung der Vakuumtherapie (Negative Pressure Wound Therapy – NPWT) enorm angestiegen. Diese fortschrittliche Technik hat die Behandlung vieler Patienten mit chronischen und akuten Wunden revolutioniert^{1,2}. Die weitverbreitete Übernahme der Vakuumtherapie im Laufe der vergangenen 15 Jahre wurde wesentlich durch die positive klinische Erfahrung und nicht durch randomisierte klinische Studien oder wissenschaftliche Erkenntnisse gefördert. Der Arzt scheint mit dem vorliegenden Verständnis des Wirkprinzips von Vakuum auf das Wundbett in der Lage zu sein, das richtige Wundfüllmaterial und Druckeinstellung für die Vakuumtherapie und einer optimalen Wirkung mit minimalen Komplikationen auswählen zu können.

*Autoren: M. Malmjö, Q. Borgquist
Vollständige Angaben zu den Autoren siehe Seite 4.*

Was ist Vakuumtherapie?

1989 beschrieb Chariker eine auf Gaze beruhende Drainagetherapie mit Unterdruck zur Wundheilung³. Außerdem wurde die bisherige Anwendung einer Vakuumtherapie mit Gaze in der Sowjetunion von Miller beschrieben⁴. Argenta und Morykwas machten 1997 die Vakuumtherapie zur Behandlung von Wunden mit der Beschreibung der Anwendung von subatmosphärischem Druck bei einem Polyurethanschaum mit offenerporiger Struktur zur Beschleunigung der Wundheilung bekannt und schufen damit die Grundlagen für das wissenschaftliche Verständnis dieser Therapie^{5,6}.

Heute wird die Vakuumtherapie für die klinische Behandlung vieler Wundarten angewendet¹ u. a. für Wunden in der Unfallchirurgie⁷, für Weichteilverletzungen⁸, Hauttransplantate⁹, Dekubitus¹⁰, venöse Beingschwüre¹¹, diabetische Fußulzera¹², Verbrennungen¹³, chirurgische Infektionen¹⁴ und die Behandlung anderer schwerwiegende Operationswunden¹⁵⁻¹⁷.

Bei der Vakuumtherapie wird ein geschlossenes Drainagesystem angewendet, um mit kontrollierter Saugkraft (Vakuum) auf das Wundbett einzuwirken. Die Wunde wird zunächst mit einem Wundfüller (Gaze oder Schaum) befüllt, um den Druck gleichmäßig auf das Wundbett zu verteilen. Danach wird die Wunde mit einer selbsthaftenden transparenten Folie verschlossen und der Verbindungsschlauch an eine Vakuumpumpe angeschlossen. Wundflüssigkeit wird über die Drainage abgesaugt und in einem Behälter aufgefangen.

Was sind die Wirkmechanismen einer Vakuumtherapie?

Der Wirkmechanismus einer Vakuumtherapie beschleunigt bekanntermaßen die Wundheilung wie folgt: Die Vakuumtherapie schafft eine feuchte Umgebung¹⁸, lässt das Exsudat abfließen^{5,6,19}, reduziert Ödeme²⁰, führt zu einer Kontraktion der Wundränder^{5,6,19} und einer mechanischen Stimulation des Wundbetts²¹⁻²³, verändert die Durchblutung in den Wundrändern^{6,24-26} und stimuliert die Angiogenese^{27,28} sowie die Bildung von Granulationsgewebe⁶. Die Vakuumtherapie kann gegen Infektionen schützen, da die Wunde verschlossen ist. Außerdem kann der seltener erforderliche Verbandwechsel das Kontaminationsrisiko weiter reduzieren. Die biologischen Effekte einer Vakuumtherapie auf das Wundbett hängen von der Art der Wundaufgabe und der Einstellung des angelegten Unterdrucks ab (nachfolgend beschrieben).

Was ist ein Wundfüllmaterial?

Als **Wundfüllmaterial** wird die in einem direkten Kontakt mit der Wunde stehende Wundaufgabe bezeichnet, die dadurch auch mit dem Wundbett interagiert. Bei dem Wundfüllmaterial kann es sich um den **Wundfüller** handeln (im Allgemeinen entweder ein Polyurethanschaum mit offenerporiger Struktur oder mit Kochsalzlösung befeuchtete Gaze) oder eine nur leicht haftende **Wundkontaktschicht**, die unter den Wundfüller platziert wird, um das Wundbett zu schützen (Abbildung 1).

Die Eigenschaften des Wundfüllmaterials bestimmen zum Großteil die Wirkung einer Vakuumtherapie auf das Wundbett. Die Wechselwirkung zwischen dem Wundfüllmaterial und dem Wundbett wurde für Schaum und Gaze ausführlich beschrieben^{21,29}. Diese beiden Wundfüller bewirken einen mechanischen Effekt auf die Wunde²¹. Die Struktur der Wundaufgabe stimuliert die Oberfläche des Gewebes, löst die Zellteilung aus und führt zum Aufbau und Stärkung des Gewebes.

Welche Funktion haben die verschiedenen Wundfüllmaterialien?

Wundfüllmaterial (üblicherweise Schaum oder Gaze)

Wundfüller haben die Funktion auf das Wundbett einen Gegendruck auszuüben. Experimentelle Studien zeigen, dass Druck über Schaum genauso gut wie über Gaze weitergegeben wird²². Die durch den Unterdruck entstandene Saugkraft führt zu einer aktiven Drainage des Exsudats aus der Wunde. Dies wiederum führt zu einer Reduzierung verschiedener Verbindungen, die eine Wundheilung beeinträchtigen, wie z. B. proteolytische Enzyme und Metalloproteinasen^{30,31}. Besonders wichtig ist es, den Wundfüller mit allen Gewebereichen in direkten Kontakt zu bringen, auf die eine Vakuumtherapie einwirken soll.

Wundkontaktschicht

Eine nichthaftende Wundkontaktschicht wird unter dem Wundfüller angebracht, wenn der Arzt Komplikationen erwartet^{32,33}. Eine Wundkontaktschicht kann auf empfindliche Strukturen³³, aber auch

NPWT Die Einstellung des Drucks und die Auswahl der Wundfüllmaterialien

Einfach erklärt



über das Wundbett selbst platziert werden, da man annimmt, dass sie das Einwachsen von Granulationsgewebe in den Wundfüller verhindert. Gewebe des Wundbettes wächst nachweislich in Schaum, aber nicht in Gaze³⁴. Folgende Komplikationen sind mit dem Einwachsen in Schaum assoziiert:

- **Schmerzen während des Verbandwechsels, da das eingewachsene Gewebe von der Wunde gerissen wird³⁵. Die Schmerzen müssen oftmals behandelt werden^{36,37}**
- **Zerreißen des Wundbetts und mechanische Gewebeschäden, da beim Verbandwechsel der Schaum vom Wundbett abgerissen wird**
- **Schaumteilchen können im Wundbett festkleben und, sofern sie in der Wunde belassen werden, als Fremdkörper reagieren und damit die Wundheilung eventuell behindern.**

Liegen Nachweise für die Anwendung dieser verschiedenen Wundfüllmaterialien vor?

Der wissenschaftliche Nachweis des biologischen Effekts einer Vakuumtherapie auf das Wundbett konzentriert sich bisher auf die Anwendung von entweder Polyurethanschaum oder Gaze als Wundfüller^{21,34,38}. Es muss bedacht werden

dass der Schaum in der klinischen Praxis wahrscheinlich mit einer nichthaftenden Wundkontaktschicht kombiniert wird. Es ist allgemein bekannt, dass der Unterdruck über die üblicherweise angewendeten Wundkontaktschichten weitergeleitet wird^{39,40}. Bisher liegen jedoch keine Studien zur formalen Untersuchung des Effekts einer Kombination von Schaum und nichthaftenden Kontaktschicht auf das Wundbett und die Bildung von Granulationsgewebe vor.

Wie wird ein geeignetes Wundfüllmaterial ausgewählt?

Paglinawan *et al* belegten, dass die Anwendung von entweder Gaze oder Schaum zu einer gesteigerten Bildung von Granulationsgewebe führt³⁸. In Studien zur Anwendungsbeobachtung war die Wundheilungsrate bei einer Vakuumtherapie unter Verwendung von Gaze mit der bei der Anwendung von Schaum vergleichbar⁴¹. Allerdings belegen inzwischen auch Studien, dass sich die Menge und die Art des gebildeten Granulationsgewebes zwischen den beiden Wundauflagen unterscheiden kann. Die Anwendung von Schaum als Wundgrenzfläche bei einer Vakuumtherapie führt zur Produktion von dickem, hypertrophem Granulationsgewebe^{21,34,42}.

Gaze führt bei einer Vakuumtherapie zu weniger dicken, aber dichterem Granulationsgewebe^{21,34}.

Schaum als Wundfüllmaterial

Das dicke, während einer Vakuumtherapie unter Schaum entstehende Granulationsgewebe^{34,42} kann manchmal von Vorteil sein. Gelegentlich kann es jedoch auch Probleme verursachen, wie z. B. einer Fibrose, die zu einer Narbenbildung führen kann⁴².

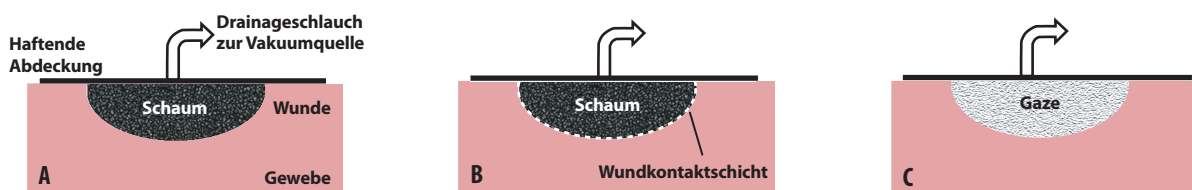
Schaum kann eine gute Wahl zur Behandlung von Wunden sein, bei denen dickes Granulationsgewebe von Nutzen ist und Narbenbildung kein Problem darstellt. Dazu gehören beispielsweise einer Fasziotomie bei einem Kompartmentsyndrom der oberen oder unteren Extremitäten, bei denen eine Kontraktion von Nutzen ist^{16,43}. Bei akuten Wunden mit großem Gewebeverlust kann Schaum eine Therapie zur Kontraktion des Gewebes sein, sodass die Wundränder zusammengezogen werden^{7,8}.

Gaze als Wundfüllmaterial

Gaze wird oft wegen seiner Anpassungsfähigkeit an die Wundform und die einfache Anwendung bei großen und ungleichmäßigen Wunden eingesetzt⁴⁴. Gaze wird inzwischen von manchen plastischen

Abbildung 1 Wundauflagen für die Vakuumtherapie

Die **Wundfüllmaterialien** können entweder **Wundfüller** sein, zu denen üblicherweise Schaum (A und B) und Gaze (C) oder eine unter dem Schaum platzierte, nichthaftende **Wundkontaktschicht** sein (B), um empfindliche Strukturen zu schützen oder das Einwachsen von Granulationsgewebe in den Wundfüller zu verhindern.



Chirurgen bevorzugen zur Vorbereitung des Wundbetts vor dem Einsatz von Hauttransplantationen angewendet⁴⁵. Gaze kann ebenfalls eine gute Wahl sein, wenn das kosmetische Ergebnis von größerer Bedeutung ist oder in den Fällen, in denen das Narbengewebe, beispielsweise über Gelenken, die Bewegung einschränken kann. Unter der Vakuumtherapie wird der Wundfüller in die Wunde gepresst und es wird vorgeschlagen, diese Technik auch zu verwenden, um oberflächliche Blutungen mit Gaze und NPWT zu stillen⁴⁶.

Gaze ist ein guter Wundfüller, insbesondere bei extremen Umständen. Jeffery *et al*, 2009 beschreiben die Anwendung von Gaze bei der Vakuumtherapie zur Behandlung von Wunden bei Militärangehörigen, die durch Landminen und anderen Sprengkörpern verursacht wurden⁴⁴. Bei der Vakuumtherapie wurde nicht von Problemen mit in die Gaze eingewachsenem Granulationsgewebe berichtet³⁴ und deshalb ist keine Wundkontaktschicht erforderlich. Angemerkt werden muss, dass fast alle bei einer Vakuumtherapie verwendete Gaze einem ganz bestimmten Typ von Baumwollgaze (Kerlix AMD)⁴¹ angehört, die durch eine Imprägnierung mit Polyhexamethylenbiguanid (PHMB) eine antimikrobielle Wirkung hat.

Wie oft sollte die Wundverband bei einer Vakuumtherapie gewechselt werden?

Wie oft ein Verbandwechsel erforderlich ist, hängt von der Art der verwendeten Wundaufgabe ebenso wie von der Wundart ab. Üblicherweise wird empfohlen, Schaumverbände alle 48 Stunden zu wechseln^{47,48}. Der Grund dafür ist, dass der Schaum gewechselt werden muss, bevor ein Einwachsen zum Problem wird⁴⁹.

Bei Gaze und einer nichthaftenden Wundkontaktschicht ist das Einwachsen unwahrscheinlich und die Wundaufgaben können vermutlich weniger häufig gewechselt werden. Aktuell wird empfohlen, die Gaze zwei bis dreimal pro Woche zu wechseln⁴¹.

Welcher Unterdruck sollte angewendet werden?

Welcher Druck ist der Goldstandard?

Momentan liegen keine detaillierten klinischen Richtlinien im Hinblick auf die Anpassung des Unterdruckpegels an eine individuelle Wunde vor. Der am häufigsten verwendete Druckpegel beträgt -125 mmHg und beruht auf einer begrenzten Studie an Schweinen aus 1997⁶. Dieser hohe Pegel für den Unterdruck kann manchmal Schmerzen verursachen und muss daher reduziert werden^{48,37}.

Aus präklinischen Studien ist bekannt, dass maximale biologische Effekte auf die Wundränder in Bezug auf die Kontraktion der Wunde⁵⁰, der regionalen Durchblutung⁵¹ und der Bildung von Granulationsgewebe^{21,34} bei einem Druck von -80 mmHg erreicht werden. Darüber hinaus haben klinische Studien gezeigt, dass Unterdruckpegel von unter -125 mmHg zu einer ausgezeichneten Wundheilung geführt haben⁵². In einer Reihe von klinischen Fällen

wurde festgestellt, dass die Wundheilung bei der Anwendung eines Unterdrucks von -125 mmHg und -75 mmHg vergleichbar war⁴⁸.

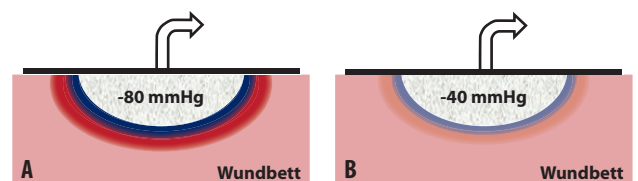
Welcher Druck kann bei Schmerzen oder dem Risiko einer Ischämie angewendet werden?

In den meisten oberflächlichen Schichten des Wundbettgewebes (0,5 cm von den Wundrändern) ist die Durchblutung bekanntermaßen reduziert und in tieferen Schichten des Gewebes erhöht (2,5 cm vor dem Wundrändern)^{25,26,51,53} (Abbildung 2). Die reduzierte Durchblutung ist ein Ergebnis der Wundaufgabe, die in das Gewebe gepresst wird und damit das Gewebe komprimiert⁵⁴. Bei einer Wunde ohne Risiko einer Ischämie ist es möglich, dass die Kombination aus erhöhter und reduzierter Durchblutung für den Wundheilungsprozess vorteilhaft ist. Eine gesteigerte Durchblutung führt zu einer verbesserten Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen des Gewebes. Gleichzeitig werden die Tiefenwirkung der Antibiotika und die Beseitigung von Abfallprodukten verbessert. Eine reduzierte Durchblutung stimuliert die Angiogenese, die wiederum die Bildung von Granulationsgewebe fördert.

Leidet der Patient Schmerzen oder im Fall einer schlechten Vaskularisation des Gewebes (z. B. bei diabetischen Fußulzera und dünnen Hauttransplantaten), muss der Unterdruck eventuell gesenkt werden, um das Risiko einer Ischämie zu reduzieren^{24,54,55}. Ein Unterdruck von -40 mmHg ist vermutlich eine gute Wahl, da dieser Druckpegel bekanntermaßen das Risiko einer Ischämie bei gleichzeitigem Erhalt des Wundheilungseffekts reduziert⁵¹. Selbst bei einem Unterdruck von -20 mmHg kann eine Wundheilung beobachtet

Abbildung 2 Der Effekt der Durchblutung in den Wundränder

Der Effekt von hohem (-80 mmHg) (A) und niedrigem (-40 mmHg) (B) Unterdruck auf die Durchblutung: In der Nähe der Wundränder nimmt die Durchblutung ab (blau) wohingegen weiter von den Wundrändern entfernt die Durchblutung zunimmt (rot). Die Durchblutung hat den maximalen Effekt bei -80 mmHg. Bei Reduzierung des Unterdrucks auf beispielsweise -40 mmHg reduziert dies auch die Effekte der Durchblutung und das Risiko einer Ischämie. Ein Unterdruck von -40 mmHg kann für schlecht durchblutetes Gewebe (z. B. bei diabetischen Fußulzera und dünnen Hauttransplantaten) der geeignete Druck sein.



werden. Dies ist vermutlich der niedrigste Druck, der bei einer Vakuumtherapie angewendet werden kann^{21,50}.

Welcher Druck ist für die Entfernung großer Mengen von Exsudat am besten geeignet?

Nur selten gibt es einen Grund einen Unterdruck von mehr als -80 mmHg anzuwenden^{34,50,51}. Da jedoch die Absaugung von Exsudat bei einem Druck von -125 mmHg besser sein kann⁵⁰, könnte dieser Druckpegel während der Initialtherapie einer stark exsudierenden Wunde angewendet werden.

Wird die Wahl des Unterdrucks durch die Wahl des Wundfüllmaterials beeinflusst (Schaum oder Gaze)?

Erst allmählich werden die Wechselwirkungen zwischen Druck und Wundfüllmaterial verstanden. Ein weitverbreiteter Irrtum ist, dass mit Schaum gefüllte Wunden mit einem Druck von -125 mmHg und mit Gaze gefüllte Wunden mit einem Druck von -80 mmHg behandelt werden sollten. Neuere Erkenntnisse zeigen deutlich, dass der Pegel des Unterdrucks in Abhängigkeit vom Risiko einer Ischämie^{24,51,54,55} und den Schmerzen des Patienten^{37,48} angepasst werden sollte. Außerdem sollte die Wahl des Wundfüllmaterials auf die gewünschten Effekte bei der Bildung von Granulationsgewebe beruhen^{21,34,42}.

Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die wahre Natur des Einflusses der Wundfüller und des Unterdrucks auf den Heilungsprozess zu erforschen.

Wie unterscheiden sich kontinuierlicher, intermittierender und variabler Unterdruck?

Kontinuierlicher Unterdruck ist momentan die am häufigsten verwendete Einstellung bei einer Vakuumtherapie. Der Druckpegel wird konstant bei beispielsweise -80 mmHg

gehalten. Wird der Unterdruck wiederholt ein- und ausgeschaltet (beispielsweise in einem Wechsel zwischen 0 und -80 mmHg), wird dies als **intermittierende** Drucktherapie bezeichnet.

Eine intermittierende Drucktherapie wird nur selten klinisch angewandt, da die plötzliche Steigerung des wechselnden Unterdrucks zu einer wiederholten Ausdehnung und Kontraktion über dem Granulationsgewebe führt und damit dem Patienten Schmerzen verursacht.

Die **variable** Drucktherapie wurde eingeführt, um einen angenehmen Wechsel zwischen zwei verschiedenen Unterdruckpegeln zu ermöglichen (beispielsweise -10 und -80 mmHg). Dadurch bleibt das Unterdruckumfeld während der Therapie erhalten⁵⁶. In präklinischen Modellen haben sowohl die intermittierende und die variable Vakuumtherapie die Bildung von Granulationsgewebe im Wundbett massiv stimuliert^{6,57}. Möglicherweise ist dies ein Ergebnis sowohl der mechanischen Stimulation des Wundbettes (ein Massageeffekt)⁵⁷ sowie einer verstärkten Durchblutung, die eventuell die Versorgung des Gewebes mit Sauerstoff und eine Angiogenese steigert⁵⁸.

Zukünftige Anwendung der Vakuumtherapie

Auch wenn die Wirksamkeit der Vakuumtherapie noch weiter untersucht werden muss⁵⁹, so ist diese fortschrittliche Wundtherapie eine Behandlungsmöglichkeit mit steigender Attraktivität, welche die Aufmerksamkeit einer Vielzahl von Fachärzten auf sich zieht, die Patienten mit Wunden behandeln. Die Rolle der Wundfüllmaterialien, den Druckpegel und seine Einstellungen zu verstehen, ist ein Teil des Prozesses zur Optimierung des Nutzens dieser Behandlungsmethode für den Patienten.

Dieser Artikel wurde von Smith & Nephew gefördert

Zusammenfassung

Zur Erzielung eines optimalen Effekts sollten die Einstellungen einer Vakuumtherapie auf die individuelle Wunde abgestimmt sein. Die Art der Wundaufgabe, die im direkten Kontakt mit der Wunde steht (das Wundfüllmaterial) ist für den Behandlungserfolg entscheidend.

Wundfüllmaterialien können Schaum, Gaze oder eine Wundkontaktschicht sein. Der Pegel des Unterdrucks und die Einstellungen für das Vakuum (kontinuierlicher, intermittierender oder variabler Unterdruck) können ebenfalls angepasst werden. Erwartet wird ein schneller Fortschritt im Bereich der Vakuumtherapie, da neue Wundfüller entwickelt, ihre Anwendung untersucht sowie klinische Daten über verschiedene Einstellungen bei der Vakuumtherapie gesammelt werden.

Literaturangabe dieser Veröffentlichung

Malmsjö M, Borgquist O. NPWT Die Einstellung des Drucks und die Auswahl der Wundfüllmaterialien Einfach erklärt. *Wounds International* 2010; 1(3): Verfügbar unter <http://www.woundsinternational.com>

Angaben zu den Autoren

Malmsjö M, MD, PhD
Borgquist O, MD

Sciences Cliniques, Lund, Université de Lund, Suède

Korrespondenz an: malin.malmsjo@med.lu.se

Bibliografie

1. Argenta LC, Morykwas MJ, Marks MW, et al. Vacuum-assisted closure: state of clinic art. *Plast Reconstr Surg* 2006; 117(suppl 7): 127S-142S.
2. Banwell P, Téot L. Topical negative pressure (TNP): the evolution of a novel wound therapy. *J Tissue Viability* 2006; 16(1): 16-24.
3. Chariker ME, Jeter KF, Tintle TE, Ottisford JE. Effective management of incisional and cutaneous fistulae with closed suction wound drainage. *Contemp Surg* 1989(34): 59-63.
4. Miller MS, Lowery CA. Negative pressure wound therapy: 'a rose by any other name'. *Ostomy Wound Manage* 2005; 51(3): 44-6, 48-9.
5. Argenta LC, Morykwas MJ. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: clinical experience. *Ann Plast Surg* 1997; 38(6): 563-76; discussion 577.
6. Morykwas MJ, Argenta LC, Shelton-Brown EI, McGuirt W. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: animal studies and basic foundation. *Ann Plast Surg* 1997; 38(6): 553-62.
7. Bollero D, Carnino R, Risso D, et al. Acute complex traumas of the lower limbs: a modern reconstructive approach with negative pressure therapy. *Wound Repair Regen* 2007; 15(4): 589-94.
8. Stannard JP, Robinson JT, Anderson ER, et al. Negative pressure wound therapy to treat hematomas and surgical incisions following high-energy trauma. *J Trauma* 2006; 60(6): 1301-6.
9. Scherer LA, Shiver S, Chang M, et al. The vacuum assisted closure device: a method of securing skin grafts and improving graft survival. *Arch Surg* 2002; 137(8): 930-3; discussion 933-4.
10. Joseph E, Hamori C, Bergman S, et al. A new prospective randomized trial of vacuum assisted closure versus standard therapy of chronic nonhealing wounds. *Wounds* 2000; 12: 60-7.
11. Vuerstaek JD, Vainas T, Wuite J, et al. State-of-the-art treatment of chronic leg ulcers: A randomized controlled trial comparing vacuum-assisted closure (V.A.C.) with modern wound dressings. *J Vasc Surg* 2006; 44(5): 1029-37; discussion 1038.
12. Armstrong DG, Lavery LA, Diabetic Foot Study Consortium. Negative pressure wound therapy after partial diabetic foot amputation: a multicentre, randomised controlled trial. *Lancet* 2005; 366(9498): 1704-10.
13. Kamolz LP, Andel H, Haslik W, et al. Use of subatmospheric pressure therapy to prevent burn wound progression in human: first experiences. *Burns* 2004; 30(3): 253-8.
14. Ozturk E, Ozguc H, Yilmazlar T. The use of vacuum assisted closure therapy in the management of Fournier's gangrene. *Am J Surg* 2009; 197(5): 660-5; discussion 665.
15. Wild T, Stortecky S, Stremitzer S, et al. [Abdominal dressing -- a new standard in therapy of the open abdomen following secondary peritonitis?] [Artikel auf Deutsch]. *Zentralbl Chir* 2006; 131(suppl 1): S111-4.
16. Gustafsson RI, Sjögren J, Ingemansson R. Deep sternal wound infection: a sternal-sparing technique with vacuum-assisted closure therapy. *Ann Thorac Surg* 2003; 76(6): 2048-53; discussion 2053.
17. Sjögren J, Gustafsson R, Nilsson J, Malmström M, Ingemansson R. Clinical outcome after poststernotomy mediastinitis: vacuum-assisted closure versus conventional treatment. *Ann Thorac Surg* 2005; 79(6): 2049-55.
18. Banwell PE. Topical negative pressure therapy in wound care. *J Wound Care* 1999; 8(2): 79-84.
19. Morykwas MJ, Simpson J, Pungler K, et al. Vacuum-assisted closure: state of basic research and physiologic foundation. *Plast Reconstr Surg* 2006; 117(suppl 7): 121S-6S.
20. Lu X, Chen S, Li X, et al. The experimental study of the effects of vacuum-assisted closure on edema and vessel permeability of the wound. *Chin J Clin Rehab* 2003; 7: 1244-5.
21. Borgquist O, Ingemansson R, Malmström M. Micro- and macromechanical effects on the wound bed by negative pressure wound therapy using gauze and foam. *Ann Plast Surg* In press.
22. Malmström M, Ingemansson R, Martin R, Huddleston E. Negative-pressure wound therapy using gauze or open-cell polyurethane foam: similar early effects on pressure transduction and tissue contraction in an experimental porcine wound model. *Wound Repair Regen* 2009; 17(2): 200-5.
23. Saxena V, Hwang CW, Huang S, et al. Vacuum-assisted closure: microdeformations of wounds and cell proliferation. *Plast Reconstr Surg* 2004; 114(5): 1086-96; discussion 1097-8.
24. Kairinos N, Voogd AM, Botha PH, et al. Negative-pressure wound therapy II: negative-pressure wound therapy and increased perfusion. Just an illusion? *Plast Reconstr Surg* 2009; 123(2): 601-12.
25. Wackenfors A, Gustafsson R, Sjögren J, et al. Blood flow responses in the peristernal thoracic wall during vacuum-assisted closure therapy. *Ann Thorac Surg* 2005; 79(5): 1724-30; discussion 1730-1.
26. Wackenfors A, Sjögren J, Gustafsson R, et al. Effects of vacuum-assisted closure therapy on inguinal wound edge microvascular blood flow. *Wound Repair Regen* 2004; 12(6): 600-6.
27. Chen SZ, Li J, Li XY, Xu LS. Effects of vacuum-assisted closure on wound microcirculation: an experimental study. *Asian J Surg* 2005; 28(3): 211-7.
28. Greene AK, Puder M, Roy R, et al. Microdeformational wound therapy: effects on angiogenesis and matrix metalloproteinases in chronic wounds of 3 debilitated patients. *Ann Plast Surg* 2006; 56(4): 418-22.
29. Wilkes R, Zhao Y, Kieswetter K, Haridas B. Effects of dressing type on 3D tissue microdeformations during negative pressure wound therapy: a computational study. *J Biomech Eng* 2009; 131(3): 031012.
30. Yager DR, Nwomeh BC. The proteolytic environment of chronic wounds. *Wound Repair Regen* 1999; 7(6): 433-41.
31. Armstrong DG, Jude EB. The role of matrix metalloproteinases in wound healing. *J Am Podiatr Med Assoc* 2002; 92(1):12-8.
32. Blakely M, Weir D. The innovative use of Safetac soft silicone in conjunction with negative pressure wound therapy: three case studies. Plakat stellte sich an dar 20th Symposium on Advanced Wound Care (SAWC), Tampa, Florida, 2007.
33. Dunbar A, Bowers DM, Holderness H Jr. Silicone net dressing as an adjunct with negative pressure wound therapy. *Ostomy Wound Manage* 2005; 51(suppl 11A): 21-2.
34. Borgquist O, Gustafsson L, Ingemansson R, et al. Tissue ingrowth into foam but not into gauze during negative pressure wound therapy. *Wounds* 2009; 21(11): 302-9.
35. Malmström M, Ingemansson R. Tissue trauma and pain during NPWT and wound filler

- removal (foam and gauze) – examined by immunohistochemistry for substance P and CGRP. Auszug stellte sich an dar Symposium on Advanced Wound Care and the Wound Healing Society Meeting in Orlando, Florida, 17-20 April 2010.
36. Franczyk M, Lohman RF, Agarwal JP, et al. The impact of topical lidocaine on pain level assessment during and after vacuum-assisted closure dressing changes: a double-blind, prospective, randomized study. *Plast Reconstr Surg* 2009; 124(3): 854-61.
37. Krasner DL. Managing wound pain in patients with vacuum-assisted closure devices. *Ostomy Wound Manage* 2002; 48(5): 38-43.
38. Paglinawan R, Colic M, Simon M. A comparative study of the influence of different pressure levels combined with various wound dressings on negative pressure wound therapy driven wound healing. Dargestellt bei einer Sitzung von European Tissue Repair Society, Malta, September 2008.
39. Jones SM, Banwell PE, Shakespeare PG. Interface dressings influence the delivery of topical negative-pressure therapy. *Plast Reconstr Surg* 2005; 116(4): 1023-8.
40. Petzina R, Ugander M, Gustafsson L, et al. Hemodynamic effects of vacuum-assisted closure therapy in cardiac surgery: assessment using magnetic resonance imaging. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; 133(5): 1154-62.
41. Campbell PE, Smith GS, Smith JM. Retrospective clinical evaluation of gauze-based negative pressure wound therapy. *Int Wound J* 2008; 5(2): 280-6.
42. Fracalvieri M. Negative pressure wound therapy using the gauze and the foam: immunohistological and ultrasonography morphological analysis of the granulation tissue and the scar tissue. Vorbericht einer klinischen Studie stellte sich an dar 3rd Congress CORTE 4-6 March 2010. Verfügbar von: <http://www.corteitalia.org/> (zurückgegriffen April).
43. Zannis J, Angobaldo J, Marks M, et al. Comparison of fasciotomy wound closures using traditional dressing changes and the vacuum-assisted closure device. *Ann Plast Surg* 2009; 62(4): 407-9.
44. Jeffery S. Advanced wound therapies in the management of severe military lower limb trauma: a new perspective. *Eplasty* 2009; 9: e28.
45. Chariker ME, Gerstle TL, Morrison CS. An algorithmic approach to the use of gauze-based negative-pressure wound therapy as a bridge to closure in pediatric extremity trauma. *Plast Reconstr Surg* 2009; 123(5): 1510-20.
46. Sjogren J, Gustafsson R, Koul B, Ingemansson R. Selective mediastinal tamponade to control coagulopathic bleeding. *Ann Thorac Surg* 2003; 75(4): 1311-3.
47. World Union of Wound Healing Societies. *Principles of best practice: Vacuum assisted closure: recommendations for use: A consensus document*. London: MEP Ltd, 2008.
48. McCord SS, Naik-Mathuria BJ, Murphy KM, et al. Negative pressure therapy is effective to manage a variety of wounds in infants and children. *Wound Repair Regen* 2007; 15(3): 296-301.
49. Morykwas M. Sub-atmospheric pressure therapy: research evidence. Dargestellt an First International Topical Negative Pressure Therapy ETRS Focus Group Meeting. London: ETRS; 2003; 39-44.
50. Borgquist O, Ingemansson R, Malmjö M. The influence of low and high pressure levels during negative pressure wound therapy on wound contraction and fluid evacuation. *Wound Repair Regen* In press.
51. Borgquist O, Ingemansson R, Malmjö M. Wound edge microvascular blood flow during negative-pressure wound therapy: examining the effects of pressures from -10 to -175 mmHg. *Plast Reconstr Surg* 2010; 125(2): 502-9.
52. Nease C. Using low pressure, negative pressure wound therapy for wound preparation and the management of split-thickness skin grafts in three patients with complex wounds. *Ostomy Wound Manage* 2009; 55(6): 32-42.
53. Malmjö M, Ingemansson R, Martin R, Huddleston E. Wound edge microvascular blood flow: effects of negative pressure wound therapy using gauze or polyurethane foam. *Ann Plast Surg* 2009; 63(6): 676-81.
54. Kairinos N, Solomons M, Hudson DA. Negative-pressure wound therapy I: the paradox of negative-pressure wound therapy. *Plast Reconstr Surg* 2009; 123(2): 589-98; discussion 599-600.
55. Kairinos N, Solomons M, Hudson DA. The paradox of negative pressure wound therapy - in vitro studies. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2010; 63(1): 174-9.
56. Eberlein T, Fendler H. Using a new technique of negative pressure wound therapy (NPWT), variable pressure therapy (VPT), for the management of chronic, non-healing wounds. Presented at the Symposium for Advanced Wound Care (SAWC), Dallas, Texas, April 2009.
57. Malmjö M, Ingemansson R. Variable, intermittent and continuous negative pressure wound therapy using foam or gauze: the biological effects on the wound bed including, blood flow, micro and macrodeformation, granulation tissue quantity, wound bed characteristics and tissue ingrowth into the wound filler. Auszug stellte sich an dar Symposium on Advanced Wound Care and the Wound Healing Society Meeting in Orlando, Florida, 17-20 April 2010.
58. Borgquist O, Ingemansson R, Malmjö M. The effect of intermittent and variable negative pressure wound therapy on wound edge microvascular blood flow. *Ostomy Wound Manage* 2010; 56(3): 60-7.
59. Ubbink DT, Westerbos SJ, Nelson EA, Vermeulen H. A systematic review of topical negative pressure therapy for acute and chronic wounds. *Br J Surg* 2008 95(6): 685-92.

Literaturhinweise

Malmjö M, Ingemansson R, Sjögren J. Mechanisms governing the effects of vacuum-assisted closure in cardiac surgery. *Plast Reconstr Surg* 2007; 120(5):1266-75.

Für weitere Informationen besuchen Sie bitte www.woundinternational.com oder www.wounds-uk.com