Extrakorporale Stoßwellentherapie

Anwendung in der Dermatologie: von Lipödem bis Wundheilung

ALEXANDER SCHUH, JAN SCHÖDER, PHILIPP KOEHL

Die extrakorporale Stoßwellentherapie kann in der Dermatologie bei unterschiedlichen Indikationen angewendet werden. Trotzdem setzen die meisten Behandelnden sie hauptsächlich bei Cellulite und Lip- oder Lymphödemen ein. Dabei kann die extrakorporale Stoßwellentherapie insbesondere bei chronischen Wunden den Heilungserfolg verbessern.

Bei der extrakorporalen Stoßwellentherapie (ESWT) handelt es sich um eine akustische Welle mit einer extrem hohen Amplitude in einer kurzen Anstiegszeit, gefolgt von einer längeren negativen Kavitationswelle [1, 2, 3, 4]. Als biologische Antwort auf die ESWT können Regenerationsmechanismen in Gang gesetzt werden; außerdem sind entzündungshemmende und antimikrobielle Wirkungen bekannt.

In der Dermatologie und kosmetischen beziehungsweise ästhetischen Medizin wird die ESWT vor allem zur Behandlung von Cellulite, Lipödem und Lymphödem angewendet. Weitere Indikationen der ESWT sind akute und chronische Wunden, Verbrennungswunden, Ulcera (etwa diabetisch, venös oder bedingt durch Sklerodermie), hypertrophe Narben, Keloide, Fibrose der Haut, Verbrennungsnarben und Juckreiz bei Verbrennungsnarben sowie bei Haarausfall.



© A. Schuh

Die extrakorporale Stoßwellentherapie findet bei der Behandlung von Cellulite, Narben und anderen ästhetischen Indikationen Anwendung.

Definition und Geschichte

Stoßwellen sind biomechanische Schalldruckwellen, die in der Natur immer wieder nach einer plötzlichen Entladung hoher Energiemassen vorkommen. Das beste Beispiel ist das Donnern nach Blitzschlägen oder der Überschallknall bei Flugzeugen. Da es sich bei der ESWT um eine akustische Welle, gefolgt von einer Kavitationswelle, handelt, ist der verbreitete Begriff „Stoßwelle" physikalisch gesehen nicht ganz richtig. Lediglich bei der fokussierten Anwendung handelt es sich tatsächlich um Stoßwellen. In der Anwendung sogenannter radialer Wellen entstehen hingegen Druckwellen. Diese beiden Wellenarten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Entstehung und Charakteristik – ebenso differiert ihre therapeutische Wirksamkeit [1].

1980 fand die erste klinische Stoßwellentherapiesitzung im Klinikum Großhadern statt. Ein Patient mit einem schmerzhaften Nierenstein wurde in einem Wasserbad in Narkose gebadet. Die Stoßwelle wurde hochenergetisch außerhalb des Körpers (daher extrakorporal) generiert und gezielt auf das Nierensteinlager unter Röntgenkontrolle gelenkt, um den Stein zu zertrümmern. Damit fand die ESWT zunächst in den urologischen Abteilungen in Deutschland Einzug [5].

Die Erzeugung von Stoßwellen kann elektrohydraulisch, piezoelektrisch oder elektromagnetisch erfolgen. Als Ergebnis entsteht ein Druckimpuls, der in den Körper geleitet wird. Diese Weiterleitung wird, ähnlich wie beim Ultraschall, durch ein Kopplungsmedium erreicht. Durch Reflektoren unterschiedlicher Form und Größe erfolgt eine Fokussierung der größten Energie der Wellen auf das pathologische Gewebe [1, 4].

Die ESWT wurde in der Medizin ursprünglich zur Behandlung von Nierensteinen routinemäßig angewendet. Durch den zufälligen radiologischen Nachweis von ossären Um- bezie-

hungsweise Anbauten im Sinne einer Hypertrophie des Beckenkammes an der Stelle, die die Stoßwelle bei der Behandlung von Harnleiter- oder Blasensteinen durchlaufen hatte, wurde eine stimulierende Wirkung auf den Knochenstoffwechsel erkannt. Dies ebnete den Weg für den Einsatz der ESWT im muskuloskelettalen Bereich (Traumatologie und Orthopädie) [6]. In weiterer Folge zeigte sich bei der Applikation der Stoßwelle – insbesondere bei primär offenen Tibiafrakturen, die nicht nur eine ausbleibende knöcherne Konsolidierung, sondern auch eine Wundpersistenz (prolongierte Wunde oder Fistel) zeigten – in bis zu 90 % der Fälle eine Heilung der Fraktur [7]. Als positiver Nebeneffekt wurde neben der verbesserten knöchernen Konsolidierung auch eine bessere Wundheilung festgestellt [8].

Weitere Arbeiten hinsichtlich Wundheilung folgten, was letztendlich die Indikation der Stoßwelle auf das Feld der Dermatologie und der plastisch-ästhetischen Chirurgie (etwa bei chronischen Wunden, hypertrophen Narben/Keloiden oder Cellulite) ausweitete.

In dieser Anwendung wird allerdings nicht wie bei der Pseudarthrosenbehandlung die hochenergetische, fokussierte Stoßwelle, sondern eine niederenergetische Stoßwelle verwendet [7]. Die ersten positiven Effekte der fokussierten Stoßwellentherapie auf die Wundheilung wurden bereits 1990 von Gerald Haupt im Tierexperiment nachgewiesen [9].

Auch in der kosmetischen und ästhetischen Medizin wurde die ESWT zur Behandlung unterschiedlichster Indikationen entdeckt [10, 13, 14, 31, 33, 34]. In der nationalen S2e-Leitlinie (DIGEST; Deutschsprachige Internationale Gesellschaft für Extrakorporale Stoßwellentherapie) und der internationalen Leitlinie (ISMST; International Society for Medical Shockwave Treatment) wird bei Verbrennungswunden und -narben sowie der Cellulite die ESWT als wissenschaftlich anerkanntes Verfahren empfohlen [4, 36].

Fallserien und Kasuistiken berichten über weitere Anwendungen und deren positive Effekte bei dermaler oder subdermaler Fibrose oder bei der Psoriasis [28, 37].

Wirkmechanismus der ESWT

Der mechanische Impuls durch die ESWT führt zu einer Mechanotransduktion, der zellulären Übersetzung eines mechanischen Reizes in eine biologische Antwort. So kann die ESWT Signalwege in behandelten Zellen induzieren, die schlussendlich einen regenerativen Effekt erzielen [4].

Als biologische Antwort auf ESWT können Regenerationsmechanismen in Gang gesetzt werden, die etwa Gefäßneubildungen initialisieren, mesenchymale Stammzellen rekrutieren oder die Zellproliferation und -differenzierung stimulieren; außerdem sind entzündungshemmende und antimikrobielle Wirkungen und die Unterdrückung der Nozizeption nach Behandlung beschrieben [2].

> Bei Cellulite- und Lipödempatientinnen verbessert die ESWT die biomechanischen Hauteigenschaften.

Bei der Angiogenese sprossen neue Kapillaren aus existierenden Gefäßen aus. Dieser Prozess wird durch angiogenetische Faktoren initiiert. Der bekannteste angiogenetische Faktor ist der Vascular Endothelial Growth Faktor (VEGF). Dieser ist in vier unterschiedlichen Isoformen vorhanden: VEGF-A, VEGF-B, VEGF-C und VEGF-D. Diese Proteine können ihre spezifischen Rezeptoren (VEGF receptor [VEGFR] 1-3) aktivieren und somit ihre biologische Wirkung entfalten. VEGFR3 ist hauptsächlich auf lymphatischen Endothelzellen vorhanden und wird durch VEGF-C und VEGF-D aktiviert. VEGFR2 bindet die wichtigste Isoform von VEGF, nämlich VEGF-A und führt zur Proliferation, Migration und Überleben von Endothelzellen. ESWT verursacht die Freisetzung von VEGF aus der extrazellulären Matrix und die Stimulation von VEGFR2 [4, 38].

Im Rattentiermodell konnten Forschende eine verbesserte Wundheilung durch erhöhte Gewebeperfusion, Unterdrückung der lokalen Entzündungsreaktion, Aufregulation der Zellproliferation, vor allem von Fibroblasten und Keratinozyten nachweisen [39]. Außerdem verzeichneten sie eine Neoangiogenese durch erhöhte Expression von VEGF und eNOS (endotheliale Stickstoffmonoxid-Synthase) [39]. Diese Effekte sind auf eine Membranhyperpolarisierung, Aktivierung von RAS („rat sarcoma protein“) und erhöhte Ausschüttung von Wachstumshormonen, vor allem TGF-β1 („transforming growth factor-β1“) und VEGF, zurückzuführen.

Im Zell-Modell wurden die besten Effekte hinsichtlich der Proteinexpression bei 250 Impulsen und einer Energieflussdichten von 0,1–0,13 mJ/mm² erzielt [40].

In Bezug auf Zellen wurde gezeigt, dass ESWT die Lebensfähigkeit und Proliferation verschiedener Zelltypen positiv beeinflusst, einschließlich mesenchymaler Stammzellen aus Fettgewebe und Knochenmark, primären Sehnenzellen und endothelialen Vorläufern. ESWT führt zu einer sofortigen Freisetzung von Adenosintriphosphat (ATP) [40].

ESWT in der ästhetischen Dermatologie

Cellulite und Lipödem

Siems et al. behandelten insgesamt 26 Patientinnen mit Lipödem und Cellulite mit fokussierter ESWT [15]. Dabei konnten die Autorinnen und Autoren nachweisen, dass die erhöhten Konzentrationen von Serum sowie von Produkten der Lipidperoxidation signifikant durch die ESWT reduziert werden konnten [12].

Bei Cellulite- und Lipödempatientinnen verbessert die ESWT die biomechanischen Hauteigenschaften wie Bruttoelastizität und das Hautdeformationsvermögen signifikant, was zur Glättung der Dermis- und Hypodermisoberfläche, sowie zur Wiederherstellung der Lebensqualität führte. Die Verwendung eines großen Applikatorkopfes (39 mm) zeigte hierbei hinsicht-

lich der Reduzierung des Umfangs bessere Effekte als ein kleinerer Applikatorkopf (25 mm) [3].

In einer doppelblinden, randomisierten kontrollierten Studie analysierten Knobloch et al. 53 Cellulite-Patientinnen [11]. Diese wurden randomisiert der Interventions- oder der Kontrollgruppe zugeteilt. In der Interventionsgruppe unterzogen sich die Probandinnen einer sechsmaligen, fokussierten ESWT und einem täglichen glutealen Krafttraining. Die Kontrollgruppe führte das identische Krafttraining aus und erhielt sechsmal eine Schein-ESWT. Primärer Studienendpunkt war der Cellulite Severity Score (CSS), ein validierter Score zur Beurteilung von digitalen Befunden mit einer Spanne von null (keine Cellulite) bis 15 Punkten (maximale Cellulite) anhand von standardisiert erfassten Fotografien. In der Interventionsgruppe verbesserte sich der CSS von 10,9 ± 3,8 Punkten auf 8,3 ± 4 Punkte nach zwölf Wochen ($p = 0{,}001$). Der CSS in der Kontrollgruppe blieb unverändert bei 10,0 ± 3,8 Punkten ($p = 0{,}876$). Die Veränderung des CSS in der Interventions- und der Kontrollgruppe unterschied sich signifikant ($p = 0{,}001$) und es wurden keine Nebenwirkungen beobachtet.

Akute und chronische Wunden

Die ESWT findet Anwendung bei akuten und chronischen Wunden [8, 16, 17], Verbrennungswunden, Ulcera (etwa diabetisch [18, 19, 20, 21], venös [22, 23] oder bedingt durch Sklerodermie [24]).

Die lange Persistenz beziehungsweise das rezidivierende Auftreten der Wunde ist meist durch die regelhaft vorhandene Kolonisation respektive Infektion gekennzeichnet, die zum großen Teil an die Komorbiditäten dieser Patientinnen und Patienten gekoppelt ist [7, 42]. Dazu gehören Stoffwechselerkrankungen wie etwa Diabetes mellitus. Auch etwa venöse Insuffizienz, arterielle Verschlusskrankheiten sowie Lymphödeme begünstigen die Entstehung chronischer Wunden.

Dass die ESTW bei komplizierten, nicht heilenden Wunden ein nützliches Tool sein kann, beschrieben Forschende in einer prospektiven Studie mit 208 Patientinnen und Patienten mit komplizierten, nicht heilenden Wunden unterschiedlicher Ätiologie [8]. Die ESWT-Behandlung führte bei etwa 75 % der Teilnehmenden zu einer vollständigen Epithelialisierung (Ulkusgröße zwischen 4 cm^2 und 16 cm^2, Energie 0,1 mJ/mm^2, 100 Pulse/cm^2, zwei bis vier Sitzungen im wöchentlichen Intervall).

Auch die Heilungsrate kann durch die ESWT positiv beeinflusst werden, wie Zang et al. in ihrer Metaanalyse beschreiben [17]. Bei akuten und chronischen Weichteilwunden verzeichneten die Forschenden eine Erhöhung der Heilungsrate um das 2,73-Fache und eine Verbesserung der Wundheilungsfläche um 30,45 %. Ebenso verkürzte die ESWT die Wundheilungszeit bei akuten Weichteilwunden um drei Tage und um 19 Tage bei chronischen Weichteilwunden.

Taheri et al. untersuchten in ihrer doppelblinden randomisierten Studie 50 Teilnehmende mit chronisch venösen Ulcera [23]. Die Ergebnisse zeigten, dass die Patientinnen und Patienten, die zusätzlich zu den üblichen Kompressionsverbänden eine ESWT erhielten, deutlich weniger Schmerzen hatten als die Patienten, die nur Kompressionsverbände erhielten ($p < 0{,}05$). Außerdem wurde eine signifikante Verbesserung des Heilungsprozesses der chronisch venösen Ulcera in der Gruppe mit ESWT festgestellt ($P < 0{,}05$).

Auch beim diabetischen Ulcus kann die ESWT ein mögliches Tool zur Behandlung darstellen (**Abb. 1**). Eine systematische Übersicht und Metaanalyse von Rathnayake et al. zeigte, dass der Gesamteffekt der ESWT bei diabetischem Ulcus signifikant war ($p = 0{,}0002$) [20]. Sie führte zu einer Verbesserung der Heilungsrate und einer beschleunigten vollständigen Abheilung des Ulkus. Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür ist, dass die ESWT die Freisetzung von Wachstumsfaktoren auslöst, sowie eine Neovaskularisierung des Gewebes und die Durchblutung verbessert. Dies kann zu einer verbesserten Epithelisierung der Wunde führen.

In einer Phase-III-Zulassungsstudie untersuchten Ishii et al. 60 Teilnehmende mit Sklerodermie, die unter digitalen Geschwüren litten, welche nach mehr als vier Wochen Behandlung nicht verschwunden waren [24]: 30 Teilnehmende erhielten eine



© Prof. A. Schuh

Abb. 1: a) 74 Jahre alter Patient mit einem diabetischen Druckulcus am Endglied der dritten Zehe, das trotz regelmäßiger Verbände über drei Monate persistierte. b) Nach dreimaliger ESWT in wöchentlichen Abständen verkleinerte sich das Ulcus signifikant. c) Vier Wochen nach der fünften ESWT war das Ulcus abgeheilt.

ESWT, 30 eine konventionelle Behandlung. Die nach einem achtwöchigen Behandlungszeitraum beobachtete Verringerung der Ulkuszahl wurde zwischen der Stoßwellentherapie- und der konventionellen Behandlungsgruppe verglichen. Die durchschnittliche Verringerung der Anzahl der Geschwüre betrug 0,83 (SD: 2,79) in der konventionellen Behandlungsgruppe gegenüber einer stärkeren Verringerung von 4,47 (SD: 2,65) in der Stoßwellentherapiegruppe.

Verbrennungswunden und -narben

Bei Verbrennungen kommt es zu Schäden der Haut in unterschiedlicher Tiefe, die zu einem teilweisen oder vollständigen Absterben der Haut führen [4]. Folgen von Verbrennungen können Narbenbildung, chronische Wundheilungsstörungen mit rezidivierenden Infektionen und Juckreiz sein.

Ottomann et al. zeigten 2012, dass sich durch die ESWT die durchschnittliche Zeit bis zur vollständigen (≥ 95 %) Epithelisierung signifikant verbesserte [44]. Diese betrug bei den Studienteilnehmenden, die sich einer ESWT unterzogen, 9,6 ± 1,7 und bei den Teilnehmenden, die sich keiner ESWT unterzogen, 12,5 ± 2,2 Tage ($p < 0,0005$).

Die Ergebnisse einer Meta-Analyse von Yang Y et al. zeigten, dass die ESWT bei Verbrennungsnarben in Kombination mit einer umfassenden Rehabilitationstherapie im Vergleich zu einer alleinigen Therapie wirksamer Schmerzen linderte ($p < 0,0001$) [30]. Außerdem sei sie effektiver bei der Linderung von Juckreiz im Zusammenhang mit pathologischen Narben ($p = 0,004$), Verbesserung des Aussehen der Narben ($p < 0,00001$), Verringerung der Narbendicke ($p = 0,04$) und der Förderung der Narbenreifung ($p < 0,00001$) .

Nach sechs Monaten kommt es durch die ESWT zu einer statistisch signifikanten Verbesserung der Elastizität ($p = 0,011$) der hypertrophen Verbrennungsnarbe, nicht jedoch zu signifikanten Auswirkungen auf Rötung und transepidermalen Wasserverlust [32].

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass es durch ESWT zu einer Verbesserung der Handfunktion bei Patienten mit Nervenverletzungen und hypertrophen Narben infolge von Verbrennungen kommen kann. Es wurden signifikante Verbesserungen für Schmerzen für den VAS-Score ($p = 0,004$), der Beweglichkeit der Handgelenke ($p = 0,02$), des Handfunktionstests (Jebsen-Taylor Hand Function Test [$p < 0,001$]) und der Hautmerkmale (Melanin, Hautdehnbarkeit und Hautelastizität) ($p = 0,004$, $p < 0,001$ und $p < 0,001$) festgestellt [45].

Auch der Juckreiz von Verbrennungsnarben kann durch die Behandlung mit ESWT reduziert werden, zeigten Joo et al. [29]. In ihrer Studie beschrieb das Studienteam, dass vor allem die Dauer, der Schweregrad und die Folgen des Juckreizes auf der Leuven Itch Scale durch die ESWT signifikant verbessert werden konnten. Es gibt somit Hinweise darauf, dass die ESWT den verbrennungsbedingten Juckreiz bei Verbrennungsnarben im Vergleich zur Scheinstimulation verringert sowie, dass die ESWT im Vergleich zur Scheinstimulation bei Verbrennungsnarben Schmerzen reduziert [46].

Advertisement placeholder

Hier steht eine Anzeige.

Hier staat een advertentie.

Advertisement placeholder

Hier steht eine Anzeige.

Hier staat een advertentie.

Advertisement placeholder

Hier steht eine Anzeige.

Hier staat een advertentie.

Advertisement placeholder

Hier steht eine Anzeige.

Hier staat een advertentie.

Keloide

Keloide stellen eine abnorme Reaktion auf den Wundheilungsprozess dar und haben eine Prävalenz von bis zu 16 % [27, 47]. Grundsätzlich können Keloide an jeder Körperstelle auftreten, bevorzugt betroffen sind jedoch Brust, Schultern, Nacken und Ohren. Sie sind schwierig zu behandeln, da sie dazu neigen, nach der Exzision wieder aufzutreten [27, 47]. Die Behandlung von Keloiden kann mittels Injektionen (Bleomycin, Verapamil, Hyaluronsäure und Hyaluronidase, Botulinumtoxin und Kollagenase), Imiquimod, Pentoxifyllin und Dupilumab, Kryotherapie, Laser, Radiofrequenzablation, Bestrahlung und ESWT erfolgen [47].

Die Behandlung von Keloidnarben mit ESWT kann zu einer signifikanten Abnahme von Kollagenfasern und einem Anstieg des MMP-13-Enzyms führen. Studien zeigen außerdem, dass es durch ESWT zu einer signifikanten Verringerung der Keloidhöhe kommen kann[26, 48]. Als Monotherapie bei Keloiden zeigt die ESWT analoge Verbesserungen der funktionellen und ästhetischen Ergebnisse im Vergleich zur intraläsionalen Steroidtherapie. Keloide, die mit einer Kombinationstherapie aus ESWT mit intraläsionalen Steroiden behandelt wurden, zeigten bessere Ergebnisse als solche, die nur mit intraläsionalen Steroiden behandelt wurden.

In einer experimentellen Studie konnte gezeigt werden, dass es durch ESWT zu einer Regulierung der Proliferation und Differenzierung von Keratinozyten aus hypertrophen Narben kommt, was wichtig ist in Hinblick auf den Erhalt der normalen Integrität der Epidermis [25].

Haarausfall

Der weibliche Haarausfall (androgenetische Alopezie) ist die häufigste Form der Alopezie bei Frauen.

In einer prospektiven Studie analysierten García et al. 20 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 43 Jahren, bei denen eine ESWT durchgeführt wurde [35]. Die durchschnittliche Zunahme der Gesamthaarzahl betrug 8,9 % ($p < 0{,}00001$), die der Anzahl der follikulären Einheiten 4,6 % ($p = 0{,}00031$), die der dreifachen und größeren follikulären Einheiten 18,4 % ($p = 0{,}0004$), die der kumulativen Haardicke 8,0 % ($p < 0{,}00001$). Nach drei Monaten bemerkten 85 % der Patientinnen eine Verbesserung des Haarvolumens. Die Autorinnen und Autoren kommen zu dem Schluss, dass die ESWT bei Patientinnen mit androgenetischer Alopezie sowohl für das Haarwachstum, als auch bei den Haareigenschaften zu einer statistisch signifikanten Verbesserung führt.

Fazit

1. Bei der extrakorporalen Stoßwellentherapie handelt es sich um eine akustische Welle mit einer extrem hohen Amplitude in einer kurzen Anstiegszeit, gefolgt von einer längeren negativen Kavitationswelle.
2. Ursprünglich wurde die ESWT zur Zertrümmerung von Nierensteinen entwickelt und hielt kurz danach Einzug in die Unfallchirurgie und Orthopädie
3. Die biologische Antwort des Körpers auf die ESWT umfasst die Initialisierung der Gefäßneubildung, Rekrutierung von mesenchymalen Stammzellen, sowie die Stimulation der Zellproliferation und -differenzierung; außerdem sind entzündungshemmende und antimikrobielle Wirkungen bekannt.
4. In der Dermatologie und ästhetischen Medizin wird die ESWT zur Behandlung von Patientininnen und Patienten mit Cellulite, Lipödem und Lymphödem angewendet. Weitere Indikationen sind akute und chronische Wunden, Verbrennungswunden, Ulcera, hypertrophe Narben, Keloide, Fibrose der Haut sowie (Juckreiz bei) Verbrennungsnarben.
5. Die ESWT ist ein sicheres und nebenwirkungsfreies Verfahren und kann bei den oben genannten dermatologischen Erkrankungen mit als Therapieoption in Betracht gezogen werden.

Literatur

als Zusatzmaterial unter
https://doi.org/10.1007/s12634-025-3054-5
in der Online-Version dieses Beitrags



Prof. Dr. med. habil. Alexander Schuh

Klinik für Orthopädie u. Unfallchirurgie, Abteilung für Muskuloskelettale Forschung, Klinikum Fichtelgebirge, 95615, Marktredwitz, und Süddeutsches Zentrum für Stoßwellentherapie®, 92637 Weiden in der Oberpfalz, Schuh@Stoßwellentherapie.de

Dr. med. Jan Schöder

Norddeutsches Zentrum für Stoßwellentherapie
38100 Braunschweig

Dr. med. Philipp Koehl, MHBA

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
Klinikum Fichtelgebirge
95615, Marktredwitz.

Advertisement placeholder

Hier steht eine Anzeige.

Hier staat een advertentie.

Advertisement placeholder

Hier steht eine Anzeige.

Hier staat een advertentie.

Advertisement placeholder

Hier steht eine Anzeige.

Hier staat een advertentie.

Advertisement placeholder

Hier steht eine Anzeige.

Hier staat een advertentie.