

Journal für
Mineralstoffwechsel
Zeitschrift für Knochen- und Gelenkerkrankungen
Orthopädie • Osteologie • Rheumatologie

**Extrakorporale Stoßwellentherapie
(ESWT) aus der Sicht der
Traumatologie**

Schaden W, Fischer A, Sailer A

*Journal für Mineralstoffwechsel &
Muskuloskelettale Erkrankungen*

2004; 11 (4), 40-45

Homepage:

**[www.kup.at/
mineralstoffwechsel](http://www.kup.at/mineralstoffwechsel)**

**Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche**

Member of the



Indexed in SCOPUS/EMBASE/Excerpta Medica
www.kup.at/mineralstoffwechsel



Offizielles Organ der
Österreichischen Gesellschaft
zur Erforschung des Knochens
und Mineralstoffwechsels



Österreichische Gesellschaft
für Orthopädie und
Orthopädische Chirurgie



Österreichische
Gesellschaft
für Rheumatologie

Krause & Pachernegg GmbH · VERLAG für MEDIZIN und WIRTSCHAFT · A-3003 Gablitz

P.b.b. GZ02Z031108M, Verlagspostamt: 3002 Purkersdorf, Erscheinungsort: 3003 Gablitz

Erschaffen Sie sich Ihre ertragreiche grüne Oase in Ihrem Zuhause oder in Ihrer Praxis

Mehr als nur eine Dekoration:

- Sie wollen das Besondere?
- Sie möchten Ihre eigenen Salate, Kräuter und auch Ihr Gemüse ernten?
- Frisch, reif, ungespritzt und voller Geschmack?
- Ohne Vorkenntnisse und ganz ohne grünen Daumen?

Dann sind Sie hier richtig



Extrakorporale Stoßwellen-Therapie (ESWT) aus der Sicht der Traumatologie

W. Schaden, A. Fischer, A. Sailer

Seit Dezember 1998 wurden im Unfallkrankenhaus Meidling über 1.000 Patienten von 83 zuweisenden Kliniken mit Pseudarthrosen und verzögert heilenden Knochenbrüchen mit extrakorporaler Stoßwelle behandelt. Nach der Stoßwellentherapie wird die Pseudarthrose wie eine frische Fraktur ruhiggestellt. Diese Fixation kann unterbleiben, wenn die Pseudarthrose mit entsprechendem Osteosynthesematerial versorgt ist und dieses weder klinisch noch radiologisch Lockerungszeichen zeigt. Bis jetzt liegen die Ergebnisse von 613 Patienten vor, wovon 466 (76 %) zur knöchernen Heilung gebracht werden konnten. Atrophie oder oligotrophe Pseudarthrosen zeigten im Vergleich zu den Hypertrophien und Infizierten keine signifikanten Unterschiede im Ergebnis. Bei keinem Patienten kam es außer den bekannten Nebenwirkungen der Stoßwellentherapie (lokale Schwellung, Petechien, Hämatomverfärbungen) zu Komplikationen. Obwohl der Wirkungsmechanismus der Stoßwellentherapie noch nicht gänzlich erforscht ist, betrachten wir die ESWT wegen ihrer Effizienz, Komplikationslosigkeit und des geringen zeitlichen und ökonomischen Aufwandes – im Vergleich zur operativen Versorgung – als Therapie der ersten Wahl für Pseudarthrosen und verzögert heilende Knochenbrüche, die keiner operativen Korrektur bedürfen.

Since December 1998, more than 1.000 patients from 83 referring hospitals with non-unions or delayed healing fractures were treated with ESWT in the Trauma Center Meidling. After shockwave therapy the non-unions were immobilized like fresh fractures. This fixation is not necessary for stable non-union with osteosynthetic material without clinical or radiological signs of loosening. At this moment the results of 613 patients are available. Out of these 613 non-unions 466 (76 %) achieved bony healing. Atrophic or oligotrophic non-unions did not show any significant difference in the results in comparison to hypertrophic or infected non-unions. Beside the well-known side effects of shockwave therapy, such as local swelling, petechial bleedings and haematoma, no complications were observed. Although the working mechanism of shockwave therapy is not yet completely known ESWT is considered as the therapy of the first choice for non-unions and delayed healing fractures not needing surgical corrections due to its efficacy and the lack of complications. ESWT is less costly and offers more comfort to the patient compared to the surgical procedure. *J Miner Stoffwechs* 2004; 11 (4): 40–45.

Seit 1971 wird die extrakorporale Stoßwelle erfolgreich und mit geringen Nebenwirkungen in der Urologie eingesetzt. Trotz der relativ hohen Energieflußdichten, die dabei Verwendung finden, sind keine wesentlichen Komplikationen, wie maligne Entartung der behandelten Gewebe, bekannt.

Dem deutschen Urologen Haupt [1–4] ist es zu verdanken, daß diese Therapie auch in der Orthopädie und Unfallchirurgie zum Einsatz kommt. Den Urologen war empirisch bekannt, daß zur Zerstörung von Konkrementen in den Ureteren und in der Harnblase höhere Energien bzw. höhere Impulszahlen erforderlich waren, als zur Desintegration von Nierensteinen. Weder die Physiker noch die Mediziner hatten dafür anfänglich eine plausible Erklärung. Bei Verlaufsrontgenkontrollen zum Ausschluß eines Steinrezidivs nach Ureter- oder Blasensteinen bemerkte Haupt 1986 erstmals eine Verdickung der Beckenschaukel in dem Bereich, den die Stoßwellen auf ihrem Weg zum Konkrement durchlaufen hatten. Dies wies einerseits darauf hin, daß der Knochen Stoßwellenenergie absorbiert und andererseits, daß die Stoßwelle offensichtlich auch am Knochen biologische Reaktionen auslöst. Im Tierexperiment konnte Haupt dann auch die osteoinduktive Wirkung der Stoßwelle nachweisen.

Wirkungsmechanismen

Da in der Urologie vor allem die physikalischen Eigenschaften der Stoßwelle für ihre Wirksamkeit von Bedeutung sind, standen diese primär auch bei ihrer Anwendung im orthopädisch-unfallchirurgischen Bereich im Mittelpunkt des Interesses der Grundlagenforschung.

Das mechanistische Wirkungsmodell

Dieses versucht die Wirkung dadurch zu erklären, daß die Stoßwelle Mikroläsionen im fokussierten Gewebe setzt,

ohne den umgebenden Weichteilmantel zu zerstören, und damit Reparationsprozesse zur Heilung auslöst.

Dieses Wirkungsmodell war auch der Grund dafür, daß Schaden et al. [5] bei den ersten Anwendungen zur Behandlung von Pseudarthrosen hohe Impulszahlen (bis 12.000 bei langen Röhrenknochen) verwendeten. Aus technischen Gründen mußten aber einige Behandlungen schon bei 3.000 bis 4.000 Impulsen abgebrochen werden und es wurde dabei festgestellt, daß bei diesen Patienten die Pseudarthrosen trotzdem (oder deshalb) zur Ausheilung gebracht werden konnten. Diese Erkenntnis deckte sich mit den Grundlagenforschungen von Maier [6, 7], der nachwies, daß die optimale osteoinduktive Wirkung der Stoßwelle an Rattenfemura bei Energieflußdichten und Impulszahlen gefunden wird, die praktisch keine histologisch nachweisbaren Zerstörungen am Gewebe zeigten. Dies führte dazu, daß sich weltweit die Grundlagenforschung mehr und mehr auf die biologische Wirkung der Stoßwelle konzentrierte.

So konnten Wang (Taiwan) [8–19], Russo (Italien) [20] und Takahashi (Japan) [21, 22] zeigen, daß während und nach der Applikation von Stoßwellen im Gewebe diverse biologisch hochaktive Substanzen freigesetzt werden. So konnte die Produktion von Stickstoffmonoxid (NO), „vascular endothelial growth factor“ (VEGF), „bone morphogenetic protein“ (BMP) und anderer Wachstumsfaktoren nachgewiesen werden. Maier (Deutschland) konnte überdies zeigen, daß es unter dem Einfluß der Stoßwelle zu einer Verminderung der kleinen myelinisierten Nervenzellen kommt, was den analgetischen Effekt der Stoßwelle erklären könnte.

Dadurch wurde das mechanistische Wirkungsmodell mehr und mehr in den Hintergrund gedrängt und durch das mikrobiologische Wirkungsmodell ersetzt.

Das mikrobiologische Wirkungsmodell

Dieses Modell versucht die Wirkung der ESWT durch das Einsprossen von Blutgefäßen unter gleichzeitiger Freisetzung von diversen Wachstumsfaktoren zu erklären. Der ver-

Aus dem AUVA-Unfallkrankenhaus Wien-Meidling

Korrespondenzadresse: Dr. Wolfgang Schaden, Unfallkrankenhaus Meidling, Kundratstraße 37, A-1120 Wien, E-mail: ismst@aon.at

besserte Stoffwechsel in der Anwesenheit dieser Wachstumsfaktoren könnte für die Ausheilung des chronisch entzündlichen Gewebes verantwortlich sein, die Verminderung der afferenten Nervenfasern für den analgetischen Effekt.

Mit der ESWT steht uns offensichtlich eine Technologie zur Verfügung, mit der einerseits „Bioengineering“ (Produktion von Wachstumsfaktoren) bewirkt werden kann und andererseits mit der Stoßwelle offensichtlich auch eine äußerst subtile Denervation durchgeführt werden kann (Shockwave Surgery).

In der Unfallchirurgie werden diese Eigenschaften vor allem zur Behandlung von verzögert heilenden oder nicht heilenden Knochenbrüchen (Pseudarthrosen) genutzt. Aber auch für die Behandlung der frühen Stadien der Osteochondritis dissecans [23, 24] und der Hüftkopfnekrose [25–27] kommt der ESWT immer mehr Bedeutung zu.

Patienten und Methoden

Im Unfallkrankenhaus Wien-Meidling der AUVA wurde nach einer Reihe von Pilotstudien im Dezember 1998 im Rahmen einer großangelegten prospektiven Studie begonnen, Pseudarthrosen und verzögert heilende Knochenbrüche mit ESWT zu behandeln. Von Anfang an wurden über 50 patientenspezifische Daten in einer speziell entwickelten Datenbank gespeichert, die auch die Kombination verschiedenster Parameter zulässt und somit nicht nur der Qualitätssicherung dient, sondern auch ermöglicht, die optimalen Behandlungsparameter und andere wichtige Kriterien zu ermitteln. Diese Datenbank zur Dokumentation von Pseudarthrosenbehandlungen mit ESWT wird kostenlos allen Anwendern zur Verfügung gestellt und kann von den Autoren bezogen werden.

Seit Dezember 1998 wurden über 1.000 Patienten von 83 zuweisenden Kliniken und Krankenhäusern mit Pseudarthrosen und verzögert heilenden Knochenbrüchen behandelt. Bis jetzt liegen die Ergebnisse von 613 Patienten vor, die sich aus 196 (32 %) Frauen und 417 (68 %) Männern zusammensetzen. Das Durchschnittsalter betrug 43,7 Jahre (10–90 Jahre), das Durchschnittsalter der Pseudarthrose betrug 16,1 Monate. 556mal (91 %) resultierten die Pseudarthrosen aus Frakturen, in 57 Fällen (9 %) entstanden sie nach Osteotomien.

137 Patienten (22 %) wurden vor der Stoßwellentherapie konservativ behandelt, die anderen 476 (78 %) wurden primär operativ versorgt. Davon hatten 266 eine Operation, 120 zwei, 41 drei und 49 vier oder mehr den Knochen betreffende Operationen vor der ESWT. In knapp 2/3 der Fälle (392) war das Osteosynthesematerial zum Zeitpunkt der Stoßwellentherapie in situ. Bei 62 (10 %) der Patienten war im Lauf der Behandlung ein tiefer Infekt mit Osteomyelitis aufgetreten. Es wurde vermieden, diese Patienten im akuten Entzündungsschub zu behandeln, was mittels klinischer Untersuchung und Labor ausgeschlossen wurde.

Als Ausschlusskriterien gelten:

- Koagulopathien
- Epiphyse im Fokus
- Hirngewebe oder Rückenmark im Fokus
- Tumorgewebe im Fokus
- Lungengewebe im Fokus
- Schwangerschaft
- Akuter Infekt

Die Stoßwellentherapie wird bei uns mit dem OssaTron® der Firma HMT (High Medical Technologies, Lengwil, Schweiz) durchgeführt und prinzipiell als eine einmalige Behandlung angesehen. Die Behandlung erfolgt je nach betroffener Region in Allgemein-, Regional- oder Lokalanästhesie. Der Patient wird so gelagert, daß der Pseudarthrosespal im anterior-posterioren Strahlengang im Röntgen gut zur Darstellung kommt. Der Fokus wird im Pseudarthrosespal positioniert und in Abhängigkeit zur Größe des zu behandelnden Areals werden zwischen 2.000 und 4.000 Impulse appliziert (je 1.000 Impulse pro Lokalisation). Wir verwenden für alle Knochenbehandlungen als Ladespannung 26 kV, was einer Energieflußdichte (EFD) von 0,38 mJ/mm² entspricht.

Nach der Stoßwellentherapie wird die Pseudarthrose wie eine frische Fraktur ruhiggestellt (Abb. 1–3). Dies erfolgt üblicherweise im Gips- oder Kunststoffverband, bei besonders mobilen Pseudarthrosen vor allem im Unterschenkelbereich wird in Einzelfällen auch ein Fixateur externe angelegt. Diese Fixation kann unterbleiben, wenn die Pseudarthrose mit entsprechendem Osteosynthesematerial versorgt ist und dieses weder klinisch noch radiologisch Lockerungszeichen zeigt. Da man davon ausgehen kann, daß die Heilung initial mit dem Einsprossen von Blutgefäßen beginnt, trachten wir, Mikrobewegungen in der Pseudarthrose in den ersten 3 bis 4 Wochen zu vermeiden, um ein Zerreißen der Kapillaren zu verhindern. Dies kann im Zweifelsfall eine Entlastung der betroffenen

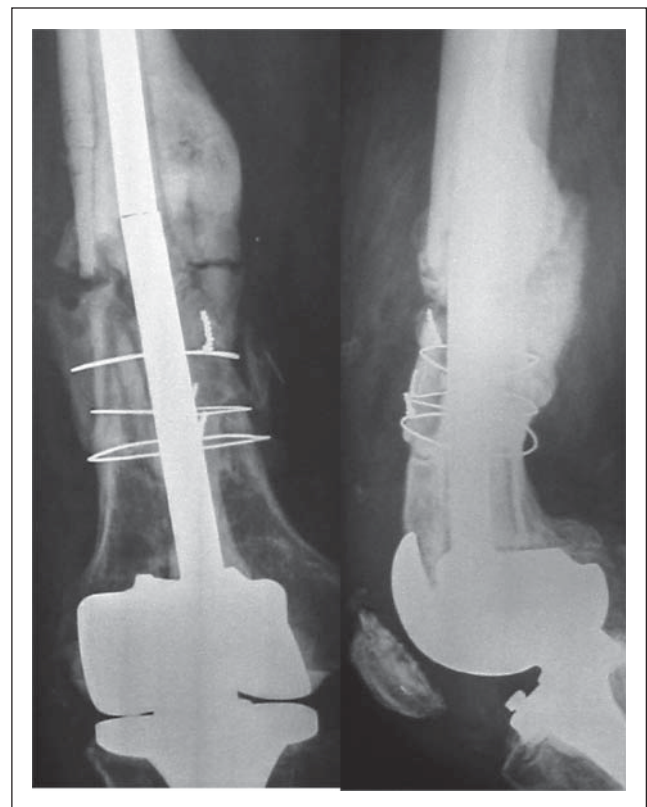


Abbildung 1: Röntgenbilder eines 58jährigen Patienten, der im Juni 1996 bei Gonarthrose mit Kniegelenkprothese versorgt wurde. Im März 2000 erlitt er eine suprakondyläre Oberschenkelchaftfraktur, die primär mit Doppelplatte und zementierter Knieprothese stabilisiert wurde. Bereits im Mai 2000 kam es zum Implantatsversagen und zur Re-Verplattung. Nach neuerlichem Plattenbruch erfolgte im Juli 2000 die Implantation einer zementierten Langschaftprothese und Stabilisierung der Fraktur mittels Drahtcerclagen. Wegen Bildung einer hypertrophen Pseudarthrose wurde der Patient im Oktober 2000 im Unfallkrankenhaus Meidling vorgestellt.

Extremität während dieses Zeitraums erforderlich machen. Dies erfordert eine exakte Aufklärung der Patienten, da diese auf Grund des analgetischen Effektes der Stoßwelle meist bereits unmittelbar nach der Behandlung beschwerdefrei sind und die betroffene Extremität voll belasten wollen.

Als prognostisch ungünstig ist ein Pseudarthrosespalt von über 5 mm Breite bei langen Röhrenknochen anzusehen. Wir behandeln üblicherweise nur Frakturen, die älter als 3 Monate sind (vom Unfall oder der letzten, den Knochen betreffenden Operation).

Ergebnisse

Von den 613 Pseudarthrosen konnten 466 (76 %) zur knöchernen Heilung gebracht werden (Tabelle 1). Zur Beurteilung der Ergebnisse werden Röntgenbilder in zwei Ebenen durchgeführt und der Patient klinisch beurteilt. Im Zweifelsfall müssen Röntgen-Schrägaufnahmen oder eine Computertomographie erfolgen. Bei kleinen Knochen (Mittelhand, Mittelfuß und Phalangen) lassen sich die Ergebnisse meist schon nach 2 bis 3 Monaten definitiv bestimmen. Bei langen Röhrenknochen sollte man bis zu 6 Monaten zuwarten, um das endgültige Ergebnis zu beurteilen (Tabelle 2 und 3).

Wenn in der Frühphase (2 bis 3 Monate nach ESWT) die Leitsymptome Biege- und Stauchungsschmerz, sowie Schwellung, Rötung und Überwärmung abklingen, kann man auch bei unklarem Röntgenbefund getrost zuwarten, da in dieser Phase die Klinik dem Röntgenbefund überlegen ist.

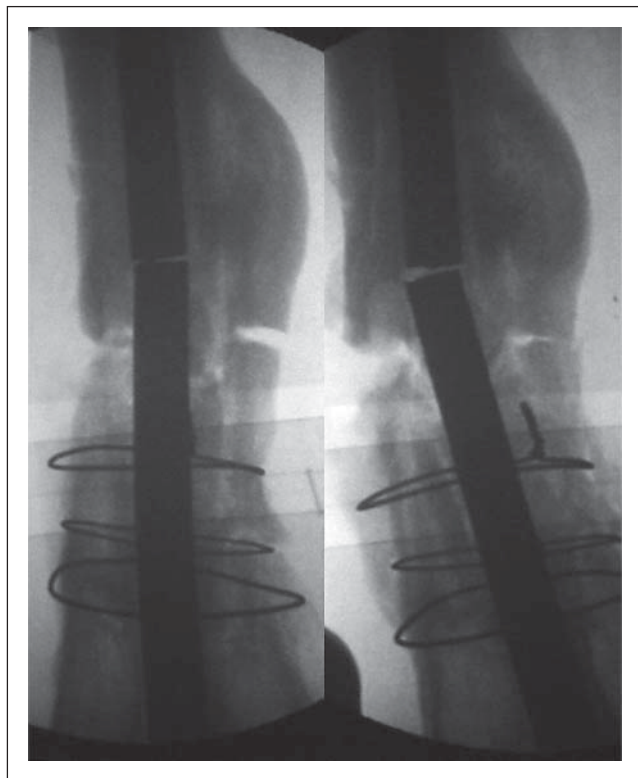


Abbildung 2: Röntgenbilder desselben Patienten unmittelbar vor der Stoßwellenbehandlung. Es zeigt sich deutliche Mobilität in der Pseudarthrose und im gebrochenen Prothesenschaft, weshalb nach der Stoßwellenbehandlung ein Beckenbeingips für 6 Wochen angelegt wurde.

Tabelle 1: Gesamtergebnisse

Region	Anzahl	Geheilt	Nicht geheilt
Humerus	51 (8 %)	34 (67 %)	11 (33 %)
Radius	36 (6 %)	32 (89 %)	4 (11 %)
Ulna	42 (7 %)	29 (69 %)	13 (31 %)
Scaphoid	85 (14 %)	55 (65 %)	30 (35 %)
Hand	40 (6 %)	34 (85 %)	6 (15 %)
Becken	7 (1 %)	6 (86 %)	1 (14 %)
Schenkelhals	5 (1 %)	4 (80 %)	1 (20 %)
Femur	85 (14 %)	61 (72 %)	24 (28 %)
Tibia	181 (30 %)	150 (83 %)	31 (17 %)
Arthrodeese OSG	11 (2 %)	5 (45 %)	6 (55 %)
Fibula	19 (3 %)	17 (89 %)	2 (11 %)
Fuß (inkl. 2 Patella)	51 (8 %)	39 (76 %)	12 (24 %)
Gesamt	613 (100 %)	466 (76 %)	147 (24 %)

Tabelle 2: Ergebnisse nach 3 Monaten

Anzahl	Unsicher	Geheilt	Nicht geheilt
613 (100 %)	81 (13 %)	383 (63 %)	149 (24 %)

Tabelle 3: Ergebnisse nach 6 Monaten

Anzahl	Unsicher	Geheilt	Nicht geheilt
613 (100 %)	0	466 (76 %)	147 (24 %)

Tabelle 4: Infektpseudarthrosen

Region	Anzahl	Geheilt	Nicht geheilt
Humerus	1	1	0
Radius	3	3	0
Ulna	3	2	1
Scaphoid	2	0	2
Hand	4	3	1
Femur	9	7 (77 %)	2
Tibia	34	25 (76 %)	9
Fibula	1	1	0
Arthrodeese (SG)	4	4	0
Patella	1	1	0
Gesamt	62	47 (76 %)	15 (24 %)

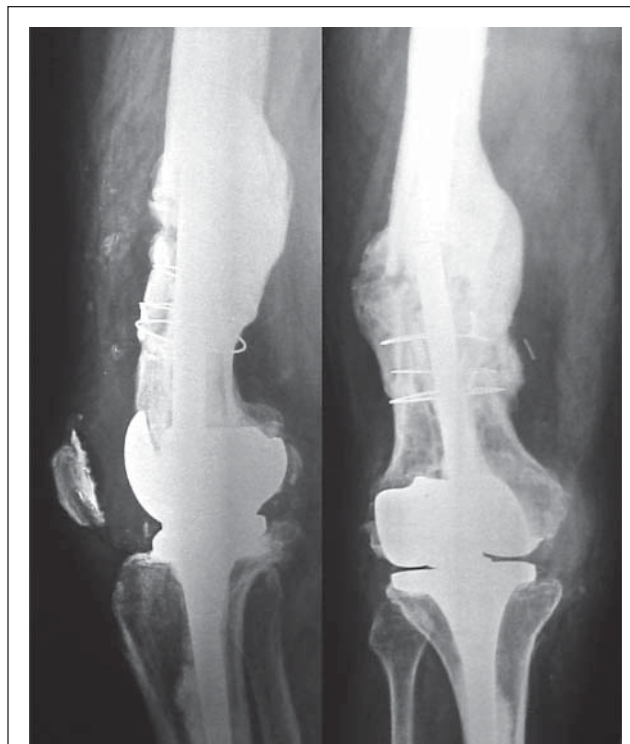


Abbildung 3: Ausheilungsergebnis 6 Monate nach ESWT in geringer Varusfehlstellung.

Von den 62 Infektpseudarthrosen kamen 47 (76 %) zur knöchernen Heilung (Tabelle 4). Prinzipiell erfolgte keine Prophylaxe mit Antibiotika, wenn der Patient aber noch unter Antibiotika-Therapie stand, wurde diese fortgeführt. In keinem Fall kam es nach ESWT zum Aufflammen eines floriden Infektes.

Wenn in angemessener Zeit keine knöcherne Durchbauung der Pseudarthrose nachzuweisen war, wurde den Patienten die operative Sanierung angeboten. Dies wurde von vielen, vor allem mehrfach voroperierten Patienten abgelehnt, was zu einer relativ hohen Anzahl an Zweitbehandlungen geführt hat (Tabelle 5). In Ausnahmefällen wurde auch eine dritte und in einem Fall sogar eine vierte Behandlung durchgeführt (Tabelle 6 und 7). Bei diesen Patienten sind auch jene inkludiert, bei denen eine aufwendige Pseudarthrosenoperation aus internen Gründen unmöglich war oder mit einem hohen Risiko besetzt gewesen wäre.

Erwartungsgemäß zeigten die 152 verzögert heilenden Brüche (ESWT 3–6 Monate nach dem Trauma oder der letzten, den Knochen betreffenden OP) die besten Ergebnisse: 133 (88 %) konnten zur Heilung gebracht werden. Von den 445 Pseudarthrosen, die älter als sechs Monate alt waren, heilten 320 (72 %) knöchern aus. Selbst in der Untergruppe der 185 Pseudarthrosen, die länger als ein Jahr seit der letzten Intervention keine spontane Heilungs-

tendenz zeigten, heilten 132 (71 %) 3 bis 6 Monate nach der ESWT knöchern aus (Tabelle 8). Es zeigt sich ein relativ konstantes Ergebnis bei Pseudarthrosen, die zwischen 12 und 36 Monaten alt sind (76–72 % Heilungsrate), erst über einem Alter von 3 Jahren seit der letzten Operation sinkt die Erfolgsrate deutlich ab (52 %). Das Scaphoid stellt hier eine Ausnahme dar, da die Ergebnisse mit zunehmendem Alter der Pseudarthrose deutlich schlechter werden (Tabelle 9).

Atrophie oder oligotrophe Pseudarthrosen zeigten im Vergleich zu den Hypertrophen und Infizierten keine signifikanten Unterschiede im Ergebnis (Tabelle 10).

Interessant ist auch die Beziehung zwischen verwendeten Impulszahlen und Heilungserfolg. Analysiert man die Beziehung zwischen verwendeten Impulszahlen und dem Heilungserfolg, so zeigen sich die besten Erfolge bei 3.000 Impulsen oder weniger (Tabelle 11). Auch hier stellt das Scaphoid eine Ausnahme dar, bei dem sich 4.000 Impulse am besten bewährten (Tabelle 12).

Diskussion

Ziel jeder Knochenbruchbehandlung ist die völlige Wiederherstellung der Funktion des verletzten Skelettabschnittes und die Bruchheilung in anatomischer Stellung in möglichst kurzer Zeit. Trotz hochentwickelter Technologien

Tabelle 5: Zweitbehandlungen

Region	Anzahl	Geheilt	Nicht geheilt
Humerus	9	7	2
Radius	6	5	1
Ulna	7	3	4
Scaphoid	8	4	4
Hand	5	1	4
Becken	1	1	0
Femur	14	7	7
Tibia	30	21 (70 %)	9
Fibula	1	0	1
Artrodese SG	4	0	4
Fuß (inkl. 1 Patella)	4	1	3
Gesamt	89	50 (56 %)	39 (44 %)

Tabelle 6: Dreifachbehandlungen

Region	Anzahl	Geheilt	Nicht geheilt
Ulna	1	1	0
Femur	2	1	1
Tibia	3	3	0
Arthrodesse SG	1	0	1
Gesamt	7	5 (71 %)	2 (29 %)

Tabelle 7: Vierfachbehandlungen

Region	Anzahl	Geheilt	Nicht geheilt
Femur	1	1	0

Tabelle 8: Heilungserfolg in Abhängigkeit zum Alter der Pseudarthrose (ohne Scaphoid)

Alter d. PSA	Anzahl	Geheilt	Nicht geheilt
> 3 ≤ 6 Monate	152 (29 %)	133 (88 %)	19 (12 %)
> 6 ≤ 12 Monate	191 (36 %)	146 (76 %)	45 (24 %)
> 12 ≤ 18 Monate	85 (16 %)	65 (76 %)	20 (24 %)
> 18 ≤ 24 Monate	40 (8 %)	30 (75 %)	10 (25 %)
> 24 ≤ 36 Monate	29 (5 %)	21 (72 %)	8 (28 %)
> 36 Monate	31 (6 %)	16 (52 %)	15 (48 %)
Gesamt	528 (100 %)	411 (78 %)	117 (22 %)

Tabelle 9: Heilungserfolg in Abhängigkeit zum Alter der Pseudarthrose / Scaphoid

Alter d. PSA	Anzahl	Geheilt	Versager
3–12 Monate	37 (43 %)	29 (78 %)	8 (22 %)
1–2 Jahre	26 (31 %)	16 (62 %)	10 (38 %)
2–4 Jahre	12 (14 %)	5 (42 %)	7 (58 %)
> 4 Jahre	10 (12 %)	5 (50 %)	5 (50 %)
Gesamt	85 (100 %)	55 (65 %)	30 (35 %)

Tabelle 10: Qualität der Pseudarthrose (ohne Scaphoid)

Qualität	Alter	Anzahl	Geheilt	Versager
atroph/oligotr.	48a	291 (55 %)	223 (77 %)	67 (23 %)
hypertroph	44a	177 (34 %)	140 (79 %)	37 (21 %)
Infekt	42a	60 (11 %)	47 (78 %)	13 (22 %)
Gesamt	46a	528 (100 %)	411 (78 %)	117 (22 %)

Tabelle 11: Heilungserfolg in Abhängigkeit zur verwendeten Impulszahl (ohne Scaphoid)

Impulse	Anzahl	Geheilt	Versager
< oder = 3.000	163	143 (88 %)	20 (12 %)
4.000	222	174 (78 %)	48 (22 %)
6.000	14	7 (50 %)	7 (50 %)
8.000	34	21 (62 %)	13 (38 %)
10.000	5	5 (100 %)	0
12.000	90	61 (68 %)	29 (32 %)
Gesamt	528	411 (78 %)	117 (22 %)

Tabelle 12: Heilungserfolg in Abhängigkeit zur verwendeten Impulszahl / Scaphoid

Impulse	Anzahl	Geheilt	Versager
< oder = 3.000	27	15 (56 %)	12 (44 %)
4.000	18	15 (83 %)	3 (17 %)
6.000	29	19 (66 %)	10 (34 %)
8.000	11	6 (55 %)	5 (45 %)
Gesamt	85	55 (65 %)	30 (35 %)

und guter Primärversorgung entwickeln sich knapp 1 % aller Knochenbrüche zu Pseudarthrosen. Als „golden standard“ gilt die operative Versorgung mit Ausräumung des pseudarthrotischen Gewebes, Anfrischen der Fraktur, Einbringen von autologer Spongiosa und entsprechende Stabilisierung mit Osteosynthesematerial. Diese Eingriffe, vor allem an langen Röhrenknochen, sind für die Patienten sehr belastend, ökonomisch und zeitlich aufwendig und weisen eine hohe Komplikationsrate auf. In den letzten Jahrzehnten wird daher nach weniger aufwendigen und weniger komplikationsträchtigen Alternativen gesucht.

Die vielfach geforderten, prospektiven, randomisierten, placebokontrollierten Doppelblindstudien sind auf Grund der Komplexität von Pseudarthrose-Patienten vor allem wegen der Problematik einer sinnvollen und praktikablen Randomisierung kaum durchführbar. Selbst für die gängigen operativen Methoden („golden standard“) gibt es solche Studien nicht. So finden sich beispielsweise – trotz der großen Anzahl an Patienten mit Tibiapseudarthrosen – nur drei, die ein annähernd ähnliches Röntgenbild zeigten (hypertrophe Pseudarthrose im distalen Drittel, am Unfalltag mit unaufgebohrtem Marknagel versorgt). Diese Patienten unterschieden sich aber völlig hinsichtlich ihres Alters, dem Alter der Pseudarthrose, der Anzahl der Voroperationen, der Begleiterkrankungen, des Geschlechts usw. Eine dieser Pseudarthrosen war als infiziert zu werten, die beiden anderen waren bland. Es wäre offensichtlich ohne jede Evidenz, eine dieser Pseudarthrosen der Verumgruppe, eine der Placebogruppe und die dritte einer Operationsgruppe zuzuordnen und dann die Ergebnisse zu vergleichen. Wie bei exakter wissenschaftlicher Analyse üblich, greift man in solchen Fällen auf den höchstmöglichen existierenden Evidenzgrad zurück, von dem wir glauben, daß ihn unsere ausgedehnte Fallsammlung erfüllt. Selbst die oberste Gesundheitsbehörde in den Vereinigten Staaten FDA (Food and Drug Administration) fordert für ein Zulassungsverfahren für Pseudarthrosebehandlungen nur, daß das Trauma mehr als 9 Monate und der letzte Eingriff mindestens 3 Monate zurückliegt.

Aus all diesen Gründen scheint es durchaus zulässig, aus unserem großen Patientengut Rückschlüsse auf die Sicherheit und Effizienz der ESWT bei Pseudarthrosen zu ziehen. Um so mehr, da andere Gruppen [28–36] bei ähnlichen Behandlungsschemata über ähnliche Erfolge berichten.

Auch die von Biedermann [37] erhobenen Zweifel, daß die ESWT nur den natürlichen Heilungsverlauf widerspiegelt und somit keine Wirksamkeit aufweist, konnte insofern widerlegt werden, als sich die Kurvenverläufe nach 12 Monaten signifikant dahingehend zu unterscheiden beginnen, daß Schaden et al. die Biedermann-Kurve zu allen nachfolgenden Zeitpunkten deutlich unterbieten können (Abb. 4).

Bei den über 1.000 von uns behandelten Patienten kam es außer den bekannten Nebenwirkungen der Stoßwellentherapie (lokale Schwellung, Petechien, Hämatomverfärbungen) zu keinen Komplikationen. Obwohl der Wirkungsmechanismus der Stoßwellentherapie noch nicht gänzlich erforscht ist, betrachten wir die ESWT wegen ihrer Effizienz, Komplikationslosigkeit und des geringen zeitlichen und ökonomischen Aufwandes im Vergleich zur operativen Versorgung als Therapie der ersten Wahl für Pseudarthrosen und verzögert heilende Knochenbrüche, die keiner operativen Korrektur bedürfen.

Literatur:

1. Haupt G, Haupt A, Senge T. Die Behandlung von Knochen mit extrakorporalen Stoßwellen – Entwicklung einer neuen Therapie. In: Chaussy C, Eisenberger F, Jocham D, Wilbert D (Hrsg). Stoßwellenlithotripsie – Aspekte und Prognosen. Attempo Verlag, Tübingen, 1993; 120–6.
2. Haupt G, Haupt A, Gerety B, Chvapil M. Enhancement of fracture healing with extracorporeal shock waves. AUA Annual Meeting, New Orleans 1990.
3. Haupt G. Stoßwellen in der Orthopädie. Urologe A 1997; 3: 233–8.
4. Haupt G. Use of extracorporeal shock waves in the treatment of pseudarthrosis, tendopathy and other orthopaedic diseases. Urology 1997; 158: 4–11.
5. Schaden W, Kuderna H. Extracorporeal shock wave therapy (ESWT) in 37 patients with non-union or delayed osseous union in diaphyseal fractures. In: Chaussy C, Eisenberger F, Jocham D, Wilbert D (Hrsg). High energy shock waves in medicine. Thieme Verlag, Stuttgart, 1997; 121–6.
6. Maier M, Milz S, Tischer T, Munzing W, Manthey N, Stabler A, Holzknecht N, Weiler C, Nerlich A, Refior HJ, Schmitz C. Influence of extracorporeal shock-wave application on normal bone in an animal model in vivo. Scintigraphy, MRI and histopathology. J Bone Joint Surg Br 2002; 84: 592–9.
7. Maier M, Averbach B, Milz S, Refior HJ, Schmitz C. Substance P and prostaglandin E2 release after shock wave application to the rabbit femur. Clin Orthop 2003; 237–45.
8. Wang FS, Wang CJ, Huang HJ, Chung H, Chen RF, Yang KD. Physical shock wave mediates membrane hyperpolarization and ras activation for osteogenesis in human bone marrow stromal cells. Biochem Biophys Res Comm 2001; 287: 648–55.
9. Wang CJ, Huang HY, Pai CH. Shock wave-enhanced neovascularization at the tendon-bone junction: an experiment in dogs. J Foot & Ankle Surg 2002; 41: 16–22.
10. Wang FS, Yang KD, Chen RF, Wang CJ, Sheen-Chen SM. Extracorporeal shock wave promotes growth and differentiation of bone-marrow stromal cells towards osteoprogenitors associated with induction of TGF- β 1. J Bone Joint Surg Br 2002; 84: 457–61.
11. Wang FS, Wang JC, Sheen-Chen SM, Kuo YR, Chen RF, Yang KD. Superoxide mediates shock wave induction of ERK-dependent osteogenic transcription factor (CBFA1) and mesenchymal cell differentiation toward osteoprogenitors. J Biol Chem 2002; 277: 10931–7.
12. Chen YJ, Kuo YR, Yang KD, Wang CJ, Huang HC, Wang FS. Shock wave application enhances pertussis toxin protein-sensitive bone formation of segmental femoral defect in rats. J Bone Mineral Res 2003; 18: 2169–79.
13. Wang FS, Yang KD, Kuo YR, Wang CJ, Sheen-Chen SM, Huang HC, Chen YJ. Temporal and spatial expression of bone morphogenetic proteins in extracorporeal shock wave-promoted healing of segmental defect. Bone 2003; 32: 387–96.
14. Wang CJ, Wang FS, Yang KD, Weng LH, Hsu CC, Huang CS, Yang LC. Shock wave therapy induces neovascularization at the tendon-bone junction. A study in rabbits. J Orthop Res 2003; 21: 984–9.
15. Hsu RWW, Tai CL, Chen CYC, Hsu WH, Hsueh S. Enhancing mechanical strength during early fracture healing via shockwave treatment: an animal study. Clin Biomech 2003; 18: S33–S39.

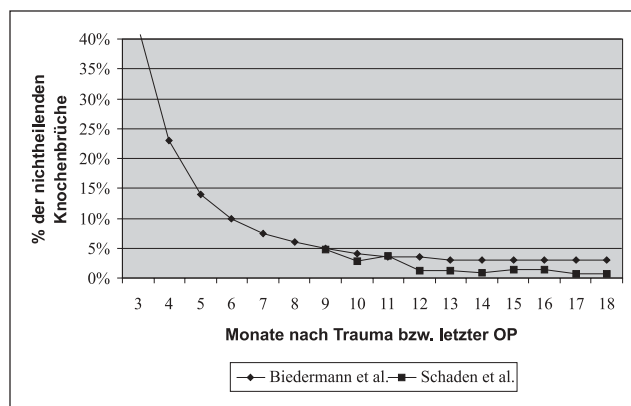


Abbildung 4: Verlaufskurven der Nicht-Heilung laut Biedermann et al. [37] und Schaden et al.: Der Kurvenverlauf von Schaden et al. ist bedingt auf den Kurvenverlauf von Biedermann et al. (bezieht sich auf den natürlichen Heilungsverlauf von Knochenbrüchen allgemein) und kann daher frühest möglich bei 9 Monaten beginnen (d. h. es werden nicht alle Patienten behandelt, sondern nur jene, bei denen es zu keiner Heilung gekommen ist).

16. Chen YJ, Kuo YR, Yang KD, Wang CJ, Sheen Chen SM, Huang HC, Yang YJ, Sun YC, Wang FS. Activation of extracellular signal-regulated kinase (ERK) and p38 kinase in shock wave-promoted bone formation of segmental defect in rats. *Bone* 2004; 34: 466–77.
17. Chen YJ, Wurtz T, Wang CJ, Kuo YR, Yang KD, Huang HC, Wang FS. Recruitment of mesenchymal stem cells and expression of TGF- β 1 and VEGF in the early stage of shock wave-promoted bone regeneration of segmental defect in rats. *J Orthop Res* 2004; 22: 526–34.
18. Chen YJ, Wang CJ, Yang KD, Kuo YR, Huang HC, Huang YT, Sun YC, Wang FS. Extracorporeal shock waves promote healing of collagenase-induced Achilles tendinitis and increase TGF- β 1 and IGF-I expression. *J Orthop Res* 2004; in press.
19. Wang FS, Wang CJ, Chen YJ, Chang PR, Hunag YT, Sun YC, Huang HC, Yang YJ, Yang KD. Ras modulation of superoxide activates ERK-dependent angiogenic transcription (HIF-1 α) and VEGF-A expression in shock wave-stimulated osteoblasts. *J Biol Chem* 2004; 279: in press.
20. Russo S, Amelio E, Corrado EM, Suzuki H. Meccanismi biomolecolari ed onde d'urto: an upgrade review. 5° Congresso Nazionale SITOD, Verona, 13–15 Maggio 2004.
21. Takahashi K, Wada Y, Ohtori S, Saisu T, Moriya H. Application of shock waves to rat skin decreases calcitonin gene-related peptide immunoreactivity in dorsal root ganglion neurons. *Auton Neurosci* 2003; 107: 81–4.
22. Takahashi K, Saisu T, Yamazaki M, Wada Y, Mitsuhashi S, Moriya H. Gene expression for extracellular matrix proteins during shockwave-induced osteogenesis in the long bone of rats. 4th Congress of the International Society for Musculoskeletal Shockwave Therapy, Berlin, 24–26 May, 2001.
23. Marx S, Thiele R. Fallvorstellung der arthroskopisch kontrollierten Therapie der Osteochondrosis dissecans mittels ESWT. *Arthroskopie* 2003; 16: 266–71.
24. Thiele R, Marx S, Ludwig J, Herbert Ch. Extracorporeal shockwave therapy for adult osteochondritis dissecans of the femoral condyle and the talus. 7th Congress of the International Society for Musculoskeletal Shockwave Therapy, Kaohsiung, April 1–4, 2004.
25. Ludwig J, Lauber S, Lauber J, Hotzinger H. [Shockwave treatment of femur necrosis in the adult]. *Z Orthop ihre Grenzgeb* 1999; 137: 3–4.
26. Lauber S. [High energy extracorporeal shockwave therapy in femur head necrosis]. *Z Orthop ihre Grenzgeb* 2000; 138: 3–4.
27. Ludwig J, Lauber S, Lauber HJ, Dreisilker U, Raedel R, Hotzinger H. High-energy shock-wave treatment of femoral head necrosis in adults. *Clin Orthop* 2001; 119–26.
28. Valchanou VD, Michailov P. High energy shock waves in the treatment of delayed and nonunion of fractures. *Int Orthop* 1991; 15: 181–4.
29. Schleberger R, Senge T. Non-invasive treatment of long-bone pseudarthrosis by shock waves (ESWL). *Arch Orthop Trauma Surg* 1992; 111: 224–7.
30. Beutler S, Regel G, Pape HC, Machtens S, Weinberg AM, Kreimeke I, Jonas U, Tschern H. Die extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) in der Behandlung von Pseudarthrosen des Röhrenknochens. *Unfallchirurg* 1999; 102: 839–47.
31. Birnbaum K, Wirtz DC, Siebert CH, Heller KD. Use of extracorporeal shock-wave therapy (ESWT) in the treatment of non-unions. *Arch Orthop Trauma Surg* 2002; 122: 324–30.
32. Wang CJ, Chen HS, Chen CE, Yang KD. Treatment of nonunions of long bone fractures with shock waves. *Clin Orthop Rel Res* 2001; 95–101.
33. Schaden W, Fischer A, Sailer A. Extracorporeal shock wave therapy of nonunion or delayed osseous union. *Clin Orthop* 2001; 90–4.
34. Rompe JD, Rosendahl T, Schollner C, Theis C. High-energy extracorporeal shock wave treatment of nonunions. *Clin Orthop* 2001; 102–11.
35. Schoellner C, Rompe JD, Decking J, Heine J. [High energy extracorporeal shockwave therapy (ESWT) in pseudarthrosis]. *Orthopäde* 2002; 31: 658–62.
36. Maier M, Schmitz C, Refior HJ. Extracorporeal shock wave application in the treatment of pseudarthrosis. *Eur J Trauma* 2003; 262–7.
37. Biedermann R, Martin A, Handle G, Auckenthaler T, Bach C, Krismer M. Extracorporeal shock waves in the treatment of nonunions. *J Trauma* 2003; 54: 936–42.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ [Bilddatenbank](#)

☒ [Artikeldatenbank](#)

☒ [Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ [Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)