

Extrakorporale Magnetotransduktionstherapie (EMTT) und hochenergetische fokussierte elektromagnetische extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) zur Knochenstimulation bei metakarpaler Pseudarthrose – ein Fallbericht

Extracorporeal magnetotransduction therapy (EMTT) and high-energetic focused extracorporeal shockwave therapy (ESWT) as bone stimulation therapy for metacarpal non-union – a case report

Autor

Karsten Knobloch 

Institut

SportPraxis Prof. Knobloch, Hannover, Deutschland

Schlüsselwörter

Metakarpalepseudarthrose, hochenergetische fokussierte elektromagnetische extrakorporale Stoßwellentherapie – ESWT, extrakorporale Magnetotransduktionstherapie – EMTT

Key words

Metacarpal non-union, high-energetic focused extracorporeal shockwave therapy – ESWT, extracorporeal magnetotransduction therapy – EMTT

eingereicht 08.07.2020

akzeptiert 02.01.2021

Bibliografie

Handchir Mikrochir Plast Chir 2021; 53: 82–86

DOI 10.1055/a-1344-8126

ISSN 0722-1819

© 2021. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Karsten Knobloch, FACS

SportPraxis Prof. Knobloch

Heiligerstr. 3

30159 Hannover

Germany

Tel. +49-511-89 70 890

Fax +49-511-89 70 8969

professor.knobloch@sportpraxis-knobloch.de

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird berichtet über eine Pseudarthrose des Metakarpale V, bei der die Kombination einer hochenergetischen fokussierten elektromagnetischen extrakorporalen Stoßwellentherapie (ESWT) mit einer extrakorporalen Magnetotransduktionstherapie (EMTT) innerhalb von 6 Wochen zu einer Verbesserung der Einheilung eines Knochenblockes vom Beckenkamm führte.

ABSTRACT

This case report describes the combination of a high-energetic focused extracorporeal shockwave therapy (ESWT) with an extracorporeal magnetotransduction therapy (EMTT) in the treatment of a non-union of the metacarpal V improving bone healing within six weeks.

Einleitung

Verzögerte Knochenbruchheilungen wie auch manifeste Pseudarthrosen betreffen am Handskelett insbesondere das Kahnbein und die Mittelhandknochen [1]. Die Anwendung der fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie (ESWT) zur Verbesserung der Knochenheilung ist seit mehr als 20 Jahren klinisch bekannt und überaus gut beschrieben [2–5].

Gerätetechnisch können und sollten fokussierte Stoßwellentherapiegeräte hinsichtlich der Art der Erzeugung der Stoßwelle differenziert werden in:

- elektrohydraulischer Generator
- piezoelektrischer Generator
- elektromagnetischer Generator

Die Arbeitsgruppe um Sergio Russo teilte als erste im Jahre 2000 ihre Erfahrungen mit der Behandlung von Kahnbeinpseudarthro-

sen mittels ESWT mit [6]. Seit 1994 hatten Russo und Mitarb. 153 Kahnbeinpseudarthrosen mittels elektromagnetisch generierter fokussierter ESWT (Storz Minilith, Tägerwil, Schweiz) jeweils in 4 Sitzungen mit je 4000 Impulsen bei $0,5 \text{ mJ/mm}^2$ therapiert, wobei die Heilungsrate nach 16 Wochen bei 53 % lag. In dieser Zeitschrift berichtete eine Salzburger Arbeitsgruppe im Sommer 2019 über eine Erfolgsrate von 71 % bei verzögerter Heilung von Kahnbeinfrakturen und Kahnbeinpseudarthrosen unter Verwendung der hochenergetischen elektrohydraulisch generierten fokussierten ESWT ($0,41 \text{ mJ/mm}^2$, 4000 Impulse; eine Sitzung; MTS Orthogold 280, MTS Europe GmbH, Konstanz, Deutschland) [7]. 2020 wurde die fokussierte ESWT bei Kahnbeinpseudarthrosen als konservativer zielführender Therapieversuch beurteilt, so eine stabile Osteosynthese, Infektfreiheit und ein Defekt von weniger als 5 mm vorliegt [8]. Durch Vergleich der Ergebnisse der Kahnbeinrekonstruktion mit (35 Patienten) und ohne (33 Patienten) intraoperativer Stoßwellenanwendung konnten Mühldorfer-Fodor und Mitarb. ebenfalls 2020 zeigen, dass die einmalige intraoperative Applikation fokussierter elektrohydraulisch generierter ESWT die Ausheilungsrate bei Kahnbeinpseudarthrosen bei Rekonstruktion mit einem nicht-vaskularisiertem Knochentransplantat verbessert [9]. Die vorliegenden Erfahrungen zeigen, dass bei elektrohydraulisch generierter fokussierter ESWT häufig nur eine Sitzung, bei elektromagnetisch generierter fokussierter ESWT 3 bis 4 Sitzungen bei Knochenheilungsstörungen erfolgreich sind.

Der folgende Fall eines berufsgenossenschaftlich verunfallten Landwirtes mit Pseudarthrose des fünften Mittelhandknochens thematisiert eine neuartige apparative Knochenstimulationstherapie basierend auf einer Kombination der vorgenannten fokussierten hochenergetischen elektromagnetischen Stoßwellentherapie (ESWT) und der extrakorporalen Magnetotransduktionstherapie (EMTT).

Fallbericht

Ein 52-jähriger Landwirt verunfallte Anfang Dezember 2018 beim Anziehen einer Schraube an einem Pflug, als er mit dem Schraubenschlüssel abrutschte und mit der rechten Hand gegen ein Stahlblech schlug. Bei der Erstvorstellung 2 Tage nach dem Unfallereignis fand sich eine Schafffraktur des Metakarpale V rechts mit ausgesprengtem Keilfragment; wiederum 2 Tage später erfolgte die geschlossene antegrade Kirschner-Drahtosteosynthese mit nachfolgender Gipsschienenruhigstellung; Ende Januar 2019 die Entfernung der K-Drähte bei noch nicht konsolidierter Mittelhandschaftfraktur (► **Abb. 1**). Laut Aktenlage mag die Compliance in Sachen Ruhigstellung einen Einfluss auf die Entscheidung zur frühzeitigen Entfernung der Drähte gehabt haben.

Im weiteren Verlauf des Jahres 2019 kam es zur zunehmenden Abkipfung des distalen Fragmentes bei Pseudarthrose (► **Abb. 2**). Von den betreuenden Kollegen wurde eine Knochenstimulationstherapie mit fokussierter Stoßwellentherapie (ESWT) diskutiert, jedoch aus logistischen und organisatorischen Gründen nicht umgesetzt. Mit großer zeitlicher Verzögerung erfolgte in einem berufsgenossenschaftlichen Krankenhaus im Januar 2020 die offene Revisionsoperation mit einem nicht-vaskularisierten Beckenkammspan und einer Miniplatte. Die konsekutiven postoperativen Röntgenaufnahmen 4 und 8 Wochen postoperativ zeigten keine knö-



► **Abb. 1** Mittelhandschaftfraktur V rechts nach Arbeitsunfall Anfang Dezember 2018 (dorsopalmare [links], schräg-seitliche [Mitte] Röntgenaufnahme der Hand vom 3.12.18) sowie dorsopalmare Röntgenaufnahme nach intramedullärer K-Drahtosteosynthese vom 6.12.2018 (rechts).



► **Abb. 2** Nach frühzeitiger Entfernung der intramedullären Drähte Ende Januar 2019 zeigt sich eine verzögerte Knochenheilung (links und Mitte) und dann eine Pseudarthrose des 5. Mittelhandknochens (rechts).

cherne Konsolidierung, sodass Ende März 2020 die Erstvorstellung zur Knochenstimulationstherapie erfolgte (► **Abb. 3**).

Die angepasste Schiene wurde noch getragen. Nach Abnahme fand sich bei der Inspektion eine reizlose Narbe. Zur besseren Visualisierung des unvollständigen Einbaus des Beckenkammspanes erfolgte in Dünnschichttechnik mit $0,2 \text{ mm}$ Schichtdicke eine digitale Volumentomografie (DVT) als „cone beam Computertomogramm“ mit dem SCS MedSeries H22 System (SCS Sophisticated Computertomographic Solutions GmbH, Aschaffenburg, Deutschland), das durch spezielle Sequenzen Metallartefakte durch einliegendes Osteosynthesematerial minimiert (► **Abb. 4**). Danach wurde in Absprache mit der Berufsgenossenschaft mit der Knochenstimulationstherapie begonnen.

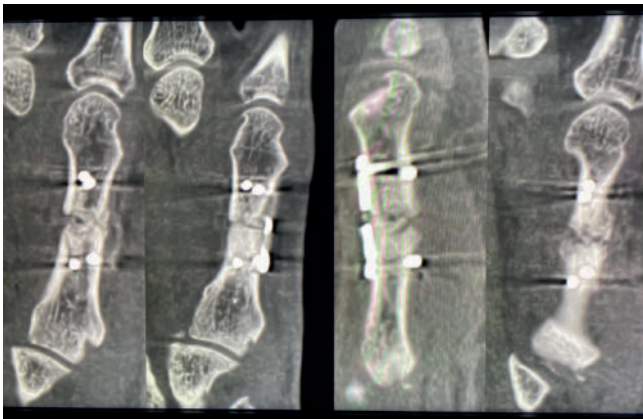
Die fokussierte elektromagnetische Stoßwellentherapie wurde hochenergetisch titrierend bis $0,35 \text{ mJ/mm}^2$ mit insgesamt 4000 Impulsen bei 4 Hz pro Sitzung ($41,6 \text{ J}$ Gesamtenergie pro Sitzung) 3-malig ohne örtliche oder Leitungsanästhesie durchgeführt (Storz Ultra, Tägerwil, Schweiz) (► **Abb. 5**), was bei langsamer Eskalation der Energieflussdichte möglich ist. Bei elektro-



► **Abb. 3** Röntgenaufnahmen der rechten Hand im dorsopalmaren Strahlengang nach operativer Revision, Beckenkammspaninterposition und Miniplattenosteosynthese 4 (links) und 8 (rechts) Wochen postoperativ.



► **Abb. 5** Fokussierte hochenergetische (bis $0,35 \text{ mJ/mm}^2$) elektromagnetische extrakorporale Stoßwellentherapie (ESWT) mit 4000 Impulsen und $41,6 \text{ J}$ Gesamtenergie pro Sitzung mit dem Storz Ultra System (Storz Medical, Tägerwil, Schweiz).



► **Abb. 4** Cone-beam Computertomografie als digitale Volumentomografie mit artefaktreduzierter Bildoptimierung mit Nachweis der unzureichenden Einheilung des Beckenkammspans 8 Wochen nach Operation.



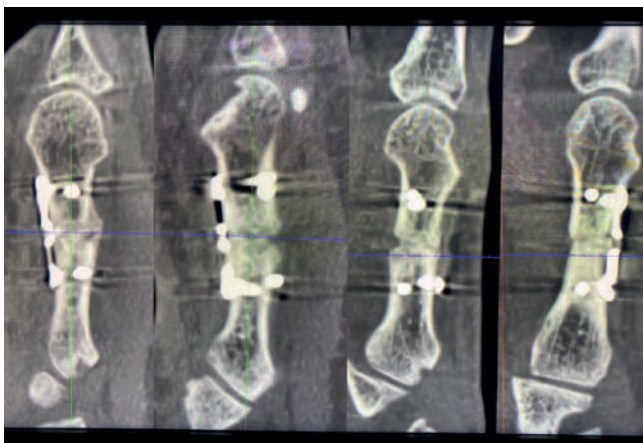
► **Abb. 6** Extrakorporale Magnetotransduktion (EMTT) mit dem Magnetolithsystem mit 6000 Impulsen auf Energiestufe 8/8 bei 8 Hz nach der fokussierten ESWT.

magnetisch generierter fokussierter ESWT sind gemäß der Leitlinie der deutschsprachigen Stoßwellenfachgesellschaft DIGEST für gewöhnlich 3 Behandlungssitzungen nötig, bei elektrohydraulischem Generator nur eine Sitzung, ggf. eine zweite nach 3 Monaten [10]. Die Behandlungen dauerten knapp 17 Minuten. Dabei wurde sonografisch navigiert von lateral wie palmar stoßwellenbehandelt, da von streckseitig die Platte eingebracht war und fokussierte Stoßwellen an Grenzflächen wie einer Plattenosteosynthese abgeschwächt werden. An die fokussierte ESWT schloss sich jeweils direkt die elektromagnetische extrakorporale Magnetotransduktionstherapie (EMTT) mit dem Storz Magnetolith an (► **Abb. 6**). Die Behandlung mittels Magnetolith erfolgte auf Energiestufe 8/8 bei 8 Hz und mit 6000 Impulsen und dauerte 12,5 Minuten. Entsprechend dauerte die Gesamtbehandlung jeweils 30 Minuten. Von dieser Kombinationsbehandlung fanden 3 Sitzungen im Abstand einer Woche statt. Die Hand war in diesem Zeitraum weiter durch eine maßgefertigte Orthese ruhiggestellt.

Die Rationale für die Kombination der fokussierten ESWT mit der EMTT ergab sich aus eigenen positiven Erfahrungen in der Stress-

fraktur-/Knochenödembehandlung an Hand- und Fußwurzelknochen, wo die Kombination beider Verfahren additive Effekte auf die Knochenbruchheilung zeigte. So scheint die Kombination aus fokussierter elektromagnetischer ESWT und EMTT die Knochenheilung nach Revisionsoperationen bei Kahnbeinpseudarthrosen mittels nicht-vaskularisiertem Knochen-span zu beschleunigen [11].

Die elektromagnetische extrakorporale Magnetotransduktionstherapie (EMTT) mit dem Magnetolith ist eine nicht-invasive und schmerzfreie Therapieform mit Magnetfeldstärken von 10 bis 80 mTesla und hohen Oszillationsfrequenzen von 100–300 kHz. Die oszillierenden Magnetimpulse werden mit einer Impulsrate bis 8 Hz freigegeben. Jeder Einzelimpuls oszilliert mit hoher Frequenz, ohne die Temperatur im Gewebe zu erhöhen. Die EMTT unterscheidet sich von anderen Formen der Magnetfeldtherapie wie der pulsierenden Magnetfeldtherapie (PEMF) u. a. durch die hohe Oszillationsfrequenz von 100–300 kHz. Diese Eigenschaft ermöglicht eine hohe Eindringtiefe bis 18 Zentimeter. Auch unterscheiden sich PEMF- und EMTT-Geräte durch die effektive Transdukti-



► **Abb. 7** 3D-Schnittbilddiagnostik mit DVT mit sichtbarem Knochenanbau und verbesserter knöcherner Konsolidierung des Metakarpale V 4 Wochen nach der letzten Knochenstimulationssitzung.

onsleistung (effective transduction power) als Gradient dBmax/dt gemessen in Tesla/s. Auf dem Markt befindliche PEMF-Geräte erzielen effektive Transduktionsleistungen von $< 60 \text{ kT/s}$ (BTL 28 kT/s ; Zimmer EmField 42 kT/s [Zimmer MedizinSysteme GmbH, Neu-Ulm, Deutschland]), während EMTT-Geräte wie das Magnetolith (65 kT/s) oder das Theracell (105 kT/s) (UTH Meditec GmbH, Salach, Deutschland) Werte $> 60 \text{ kT/s}$ ausüben. Die Annahme ist, dass je schneller ein Magnetfeld rotiert, desto höher und pronunzierter ist die bioelektrische Aktivität im Gewebe, sprich der biologische Effekt.

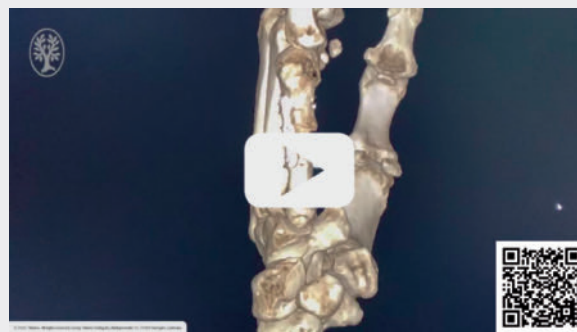
14 Wochen nach der operativen Revision und 6 Wochen nach der ersten kombinierten ESWT/EMTT-Behandlung zeigte die Schnittbilddiagnostik einen verbesserten knöchernen Einbau des Beckenkammspanns (► **Abb. 7**). Der Patient konnte daraufhin wieder in den Arbeitsprozess eingliedert werden.

Diskussion

Dieser Fallbericht zeigt die erfolgreiche postoperative Knochenstimulationsbehandlung mit der hochenergetischen fokussierten elektromagnetischen Stoßwellentherapie (ESWT) in Kombination mit der elektromagnetischen extrakorporalen Magnetotransduktionstherapie (EMTT) bei einer Metakarpale-V-Pseudarthrose. Die Einheilung des nicht-vascularisierten Beckenkammspanns in das Metakarpale V konnte innerhalb von nur 6 Wochen nach Therapiebeginn erreicht werden. Damit verlief im vorliegenden Fall die Knochenbruchheilung der Metakarpalepseudarthrose s. o. durch die Kombination der ESWT mit der EMTT deutlich schneller als dies für die alleinige ESWT von Kahnbeinpseudarthrosen bekannt ist.

Die größte vorliegende Studie zur Behandlung von Kahnbeinpseudarthrosen ($n = 153$) mittels ESWT zeigte nach 7 Wochen eine 48%ige und nach 16 Wochen eine 53%ige Heilungsrate [6]. Fallhauser und Mitarb. berichteten über eine mittlere Knochenheilungszeit des Kahnbeins von 256 Tagen, sprich 8,4 Monaten nach elektrohydraulischer fokussierter ESWT, ohne jedoch die Heilungszeit für ihre 21 Patienten mit verzögerter Knochenbruchheilung und der 21 Patienten mit Pseudarthrose gesondert anzugeben [7]. Mühlendorfer-Fodor und Mitarb. berichteten über eine Heilungsrate

VIDEO



► **Video 1** 3-D-Visualisation mit SCS MedSeries H22 der Metakarpalepseudarthrose
<https://www.thieme.de/de/q.htm?p=opn/cs/21/1/13457317-dd3b7c57>

des Kahnbeins nach 24 Wochen von 77 % bei Patienten mit zusätzlicher ESWT bei Kahnbeinpseudarthrosenrekonstruktion mittels nicht-vascularisiertem Beckenkammspan versus einer Heilungsrate von 61 % bei Patienten ohne zusätzliche ESWT [9].

Für das Kahnbein konnte jüngst gezeigt werden, dass unmittelbar und in den folgenden 30 Minuten nach Applikation einer fokussierten piezoelektrischen hochenergetischen ESWT die Durchblutung signifikant um bis zu 39 % gesteigert wird [12]. Stojadinovic und Mitarb. konnten zeigen, dass die Chance zur knöchernen Heilung einer Pseudarthrose bei Behandlung mittels ESWT umso größer ist, je früher die ESWT erfolgt, wobei auch die Lokalisation der Pseudarthrose eine Rolle spielt [12]. Passend dazu lag die Heilungsrate von Kahnbeinpseudarthrosen behandelt mittels nicht-vascularisiertem Beckenkammspan und Schraubenosteosynthese sowie zusätzlicher ESWT 2 Wochen nach der Operation nach 52 Wochen bei 81 % und war damit nur unwesentlich besser als die Behandlung ohne ESWT mit 75 % [14], wohingegen die Knochenheilungsrate bereits nach 24 Wochen bei zusätzlicher intraoperativer ESWT 77 % betrug und ohne ESWT 61 % [9].

Die elektromagnetische extrakorporale Magnetotransduktionstherapie (EMTT) zeigt ergänzend zur ESWT durchgeführt additive Effekte. So war die Kombination aus fokussierter hochenergetischer elektromagnetischer ESWT und EMTT der alleinigen ESWT bei Rotatorenmanschettentendinopathien signifikant überlegen [15]. Solch ein additiver Effekt mag die Knochenheilung im vorliegenden Fall beschleunigt haben, sodass dieser Fall in dieser Hinsicht für weitere, möglichst prospektiv randomisierte Studien zum Einfluss der Kombination der EMTT mit der ESWT bei Knochenheilungsstörungen Anstoß und Momentum liefern mag.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Prabhakar P, Wessel L, Nguyen J et al. Factors associated with scaphoid non-union following early open reduction and internal fixation. *J Wrist Surg* 2020; 92: 141–149
- [2] Vogel J, Rompe JD, Hopf C et al. Die hochenergetische extrakorporale Stosswellentherapie (ESWT) in der Behandlung von Pseudarthrosen. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1997; 135: 145–149
- [3] Beutler S, Regel G, Pape HC et al. Extrakorporale Stoßwellentherapie bei verzögerter Heilung von Brüchen langer Röhrenknochen. Erste Ergebnisse einer prospektiven Untersuchung. *Unfallchirurg* 1999; 102: 839–847
- [4] Birnbaum K, Wirtz DC, Siebert CH et al. Use of extracorporeal shock-wave therapy (ESWT) in the treatment of non-unions. A review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg* 2002; 122: 324–330
- [5] Ekkernkamp A. Die Wirkung extrakorporaler Stoßwellen auf die Frakturheilung – eine tierexperimentelle Studie. Habilitationsschrift Ruhr-Universität Bochum, 1997.
- [6] Corrado B, Russo S, Gigliotti S et al. Shockwave Treatment for non-unions of the carpal scaphoid. In: Coombs R, Schaden W, Zhou S (Hrsg.): *Musculoskeletal Shockwave Therapy*. Greenwich Medical Media Ltd, London: 2000: 187–194
- [7] Fallnhauser T, Wilhelm P, Priol A et al. Hochenergetische extrakorporale Stosswellentherapie bei verzögerter Heilung von Kahnbeinfrakturen und Pseudarthrosen: eine retrospektive Analyse der Konsolidierungsrate und therapieentscheidungsrelevanter Faktoren. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2019; 51: 164–170
- [8] Großner T, Schmidmaier G. Konservative Therapieoptionen der Pseudarthrosen. *Unfallchirurg* 2020; 123: 705–710
- [9] Mühldorfer-Fodor M, Wagner M, Kottmann T et al. Vergleich der Kahnbeinrekonstruktion mit einem nicht-vaskularisiertem Knochentransplantat mit und ohne intraoperativer Stosswellenanwendung – vorläufige Ergebnisse. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2020; 52: 404–412
- [10] Leitlinie DIGEST zur extrakorporalen Stosswellentherapie 2018, Seite 73 www.digest-ev.de
- [11] Knobloch K. Novel extracorporeal magnetotransduction therapy (EMTT) with Magnetolith & highenergetic focused electromagnetic extracorporeal shockwave therapy (ESWT) as bone stimulation therapy for scaphoid nonunion. *Medicine: Case Reports and Study Protocols* 2020, im Druck
- [12] Schleusser S, Song J, Stang FH et al. Blood flow in the scaphoid is improved by focused extracorporeal shockwave therapy. *Clin Orthop Relat Res* 2020; 478: 127–135
- [13] Stojadinovic A, Potter BK, Eberhardt J et al. Development of a prognostic native Bayesian classifier for successful treatment of nonunions. *J Bone Joint Surg Am* 2011; 93: 187–194
- [14] Quadlbauer S, Pezzeri C, Beer T et al. Treatment of scaphoid waist non-union by one, two headless compression screws or plate with or without additional extracorporeal shockwave therapy. *Arch Orthop Trauma Surg* 2019; 139: 281–293
- [15] Klüter T, Krath A, Stukenberg M et al. Electromagnetic transduction therapy and shockwave therapy in 86 patients with rotator cuff tendinopathy: a prospective randomized controlled trial. *Electromagn Biol Med* 2018; 37: 175–183