

# Sonographische Beeinflussung der Frakturheilung

## Niedrig intensiver, gepulster Ultraschall

Die Idee, den Frakturheilungsprozess mit Ultraschall positiv zu stimulieren, ist bereits über 50 Jahre alt. Schon 1955 behandelten Corady et al. Pseudarthrosen erfolgreich mit Ultraschall. Zwischen 1967 und 1987 waren es insbesondere Klug u. Knoch [3, 4] in Dresden, die sowohl experimentelle als auch klinische Arbeiten zur Stimulation der Frakturheilung mittels Ultraschall durchführten. 1983 berichtete Duarte [1] in Brasilien von experimentellen Arbeiten, in denen er das heute gebräuchliche Ultraschallsignal in seinen einzelnen Qualitäten optimierte und damit festlegte. Mit diesem heute üblichen Signal erfolgten klinische Multizenterstudien zur frischen Frakturheilung, die ebenfalls den Stellenwert der Methode unterstrichen. Bei diesem Signal handelt es sich um eine Ultraschallfrequenz von 1,5 MHz, die mit 1 kHz gepulst abgegeben wird. Die einzelne Signallänge beträgt 200 µs, die Intensität berechnet sich mit 30 mW/cm<sup>2</sup>. In der klinischen Anwendung beträgt die tägliche Behandlungsdauer 20 min.

Möchte man das heute zur Verfügung stehende Literaturmaterial systematisch zusammenfassen, sollte man unterteilen in:

- experimentelle Studien,
- klinische Studien zur frischen Frakturheilung und
- klinische Studien zur Pseudarthrosenbehandlung.

### Experimentelle Studien

1983 berichtete Duarte [1] von Experimenten an Kaninchen. An 23 Tieren hatte er eine beidseitige Fibulaosteotomie durchgeführt, an 22 Kaninchen ein beidseitiges Femurbohrloch angelegt. Jeweils eine Seite war mit dem oben beschriebenen Ultraschallsignal für 15 Tage behandelt worden. In beiden Studienarmen zeigte sich signifikant mehr Kallus auf der jeweils mit Ultraschall behandelten Seite.

Pilla et al. [9] veröffentlichten 1990 die Ergebnisse einer experimentellen Studie an 139 Kaninchen. Sie hatten eine standardisierte Fibulaosteotomie angelegt und 2 min mit niedrig intensivem Ultraschall behandelt. Als Kontrolle diente eine unbehandelte Vergleichsgruppe. Die ultraschallbehandelten Tiere zeigten eine signifikant höhere Torsionssteifigkeit sowie eine signifikant höhere Torsion der ultraschallbehandelten Fibula auf.

In einem weiteren Kaninchenversuch fanden Klug et al. [4] einen schnelleren Anstieg sowie einen früheren Abfall der alkalischen Phosphatase im Serum und eine schnellere Reifung und Differenzierung des Kallus.

Interessant sind auch die Arbeiten von Yang et al. [11] bzw. Wang et al. [10], die an einem beidseitigen Rattenfemurfrakturmodell nachweisen konnten, dass es unter der Anwendung von Ultraschall zu einer schnelleren Heilung und besseren Stabilität kommt. Yang et al. [11] führten diesen Effekt in einer Genexpressionsanalyse insbesondere auf die Stimulation der enchondralen Ossifikation zurück.

**Resümee.** Zusammenfassend zeigen die experimentellen Studien, dass es unter der Behandlung mit niedrig intensivem gepulstem Ultraschall zu

- mehr Kallus,
- einer schnelleren Reifung,
- besseren mechanischen Eigenschaften und
- einer Stimulation der enchondralen Ossifikation

kam. Als bestes Signal wurde die Trägerfrequenz von 1,5 MHz mit einer Intensität von 30 mW/cm<sup>2</sup> identifiziert.

**Eigene Untersuchungen.** Um diese experimentellen Ergebnisse zu überprüfen, führten wir in Zusammenarbeit mit dem Institut für Biomechanik der Universität Ulm (Leiter: Prof. Dr. Lutz-Claes) eine tierexperimentelle Studie am Schafmodell durch. Am Hinterlauf der Tiere wurde ein standardisierter 15 mm langer Defekt gesetzt. Mittels Fixateur externe erfolgte anschließend ein Segmenttransport zur Defektauffüllung. 8 Schafe blieben ohne Stimulation, 6 Tiere erhielten eine Stimulation des Regenerats während der Reifungsphase. Die radiologische, biomechanische und histologische Aufarbeitung zeigte in den ultraschallbehandelten Tieren eine signifikant größere Kallusfläche bei signifikant erhöhtem Mineralgehalt. Die axiale Steifigkeit war ebenso wie die Kallushomogenität signifikant erhöht. Es kam zu einer deutlichen Stimulation der enchondralen Ossifikation [7].

Zusammenfassend kann von einer beschleunigten Regeneratreifung unter der

Wirkung des niedrig intensiven gepulsten Ultraschalls berichtet werden.

## Klinische Studien

### Frische Frakturheilung

Bereits 1986 berichteten Klug et al. [4] über den Einsatz von Ultraschall zur Stimulation der Knochenbruchheilung nach distalen Radiusfrakturen. Szintigraphisch fand sich eine raschere Heilung bei deutlich erhöhtem Gesamtmineralgehalt des Kallus. Die alkalische Phosphatase im Serum war erhöht. Klinische Relevanz ergab sich durch kürzere Ruhigstellungszeiten und eine kürzere Arbeitsunfähigkeitsphase von 45 gegenüber 65 Tagen.

Diese Ergebnisse an distalen Radiusfrakturen wurden von Kristiansen et al. [5] in einer prospektiv randomisierten doppelblinden placebokontrollierten Multizenterstudie bestätigt. Unter der Stimulation mit niedrig intensivem gepulstem Ultraschall sahen diese Autoren signifikant mehr trabekuläre Überbrückung in der 5. Woche nach distaler Radiusfraktur. Der Repositionsverlust zum Zeitpunkt der Ausheilung war unter der Wirkung von Ultraschall signifikant geringer (20% vs. 45%).

Ebenfalls in einer prospektiv randomisierten doppelblinden placebokontrollierten Multicenterstudie konnten Heckmann et al. [2] 1994 über die signifikante Beschleunigung der Heilung nach Tibiaschaftfrakturen berichten. So kam es unter der Wirkung von Ultraschall bereits nach 95 Tagen zu einer Heilung von 3 Kortizes gegenüber 169 Tagen in der Kontrollgruppe. Komplett geheilt (4 Kortizes geheilt) waren die Frakturen unter der Stimulation mit Ultraschall im Schnitt nach 144 Tagen im Gegensatz zu 290 Tagen in der Placebogruppe.

**Eigene Untersuchungen.** Zur Beurteilung der möglichen Beschleunigung der frischen Frakturheilung führten wir am Klinikum Augsburg eine prospektiv randomisierte Studie bei frischen Frakturen durch die Taille des Skaphoids durch. Die Heilung wurde dabei mittels sagittaler Computertomographie beurteilt, welche ab der 4. Woche im 2-Wochen-Rhythmus durchgeführt wurde. Unter der Wirkung

von Ultraschall kam es zu einer signifikanten Beschleunigung der Heilungszeit mit 42,3 vs. 60,4 Tagen. Das Kriterium Heilung wurde objektiviert, indem der Anteil der überbrückten Frakturfläche an der Gesamtfrakturfläche bemessen wurde. Dieser Anteil musste >70% betragen [6].

Zusammenfassend konnten wir den in der Literatur berichteten positiven Einfluss von niedrig intensivem gepulstem Ultraschall auf die frische Frakturheilung bestätigen.

### Pseudarthrosen

Mit Hinblick auf ihre Behandlung finden sich keine belastungsfähigen Daten in der Literatur.

**Eigene Untersuchungen.** Nichtsdestotrotz führten wir eine prospektive Anwendungsbeobachtung bei insgesamt 100 Patienten durch. Eingeschlossen wurden ausschließlich erwachsene Patienten mit einer oligo- bis hypertrophen Frakturheilungsstörung, welche keine Majorinstabilität und keine Infektzeichen aufwiesen. In allen Fällen wurden die Indikation zur Intervention bei Knochenheilungsstörung gestellt. In dieser Situation erhielt der Patient keine Änderung des bisherigen Therapieregimes außer der Tatsache, dass eine tägliche Behandlung mit 20 min niedrig intensivem gepulstem Ultraschall stattfand. In dieser Untersuchung zeigte sich bei den 64 Fällen mit verzögerter Knochenheilung („delayed unions“) eine Heilungsrate von 85,7%, was der Heilungsrate der 36 nicht verheilten Frakturen („non unions“) mit 86,1% entsprach.

Diese Ergebnisse zeigen, dass niedrig intensiver Ultraschall zur Behandlung von Frakturheilungsstörungen mit einer Erfolgsaussicht von etwa 85% wirksam ist, sofern die Fraktur stabil ist, kein Infekt vorliegt und die Frakturfragmente vital sind [8].

## Zusammenfassung · Abstract

Trauma Berufskrankh 2008 · 10  
[Suppl 2]:212–214  
DOI 10.1007/s10039-008-1379-8  
© Springer Medizin Verlag 2008

E. Mayr

### Sonographische Beeinflussung der Frakturheilung. Niedrig intensiver, gepulster Ultraschall

#### Zusammenfassung

Sowohl in der Literatur als auch durch eigene Studien lässt sich belegen, dass niedrig intensiver gepulster Ultraschall geeignet ist, den Frakturheilungsprozess zu stimulieren. Dies gilt sowohl im Tierexperiment als auch bei der frischen klinischen Frakturheilung. Auch zur Behandlung von Pseudarthrosen ist die Methode unter Einhaltung der Einschlusskriterien geeignet. Es steht genügend Studienmaterial in ausreichender Qualität zur Verfügung, das den Einsatz von niedrig intensivem gepulstem Ultraschall in begründeten Fällen rechtfertigt.

#### Schlüsselwörter

Frakturheilungsprozess · Niedrig intensiver gepulster Ultraschall · Tierexperiment · Frische klinische Fraktur · Pseudarthrose

### Radiographic results of callus distraction aided by ultrasound. Pulsed low-intensity ultrasound

#### Abstract

Both the literature and our own studies show that pulsed low-intensity ultrasound is suitable for stimulating fracture healing. This is true in animal studies as well as in clinical fresh fracture healing. The method is also suitable for the treatment of pseudoarthrosis when selection criteria are observed. There are sufficient studies of sufficient quality available to support the use of pulsed low-intensity ultrasound in certain cases.

#### Keywords

Fracture healing · Pulsed low-intensity ultrasound · Animal experiment · Clinical fresh fracture · Pseudoarthrosis

## Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. E. Mayr**

Klinik für Unfall-, Hand-  
und Wiederherstellungschirurgie,  
Klinikum Augsburg,  
Stenglinstraße 2, 86156 Augsburg  
Ingeborg.buberl@klinikum-augsburg.de

**Interessenkonflikt.** Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

1. Duarte LR (1983) The stimulation of bone growth by ultrasound. *Arch Orthop Trauma Surg* 101: 153–159
2. Heckman JD, Ryaby JP, McCabe J et al. (1994) Acceleration of tibial fracture-healing by non-invasive, low-intensity pulsed ultrasound. *J Bone Joint Surg Am* 76-A: 26–34
3. Klug W, Knoch H-G (1987) Durch Ultraschall Stimulierung der Knochenbruchheilung – Tierexperimentelle Studie. *Ultraschall Klin Prax* 2: 185–189
4. Klug W, Franke WG, Knoch HG (1986) Scintigraphic control of bone-fracture healing under ultrasonic stimulation: an animal experimental study. *Eur J Nucl Med* 11: 494–497
5. Kristiansen TK, Ryaby JP, Frey JJ et al. (1997) Accelerated healing of acute distal radius fractures using specific, low intensity ultrasound. *J Bone Joint Surg Am* 79-A: 961–973
6. Mayr E, Rudzki M-M, Rudzki M et al. (2000) Beschleunigt niedrig intensiver, gepulster Ultraschall die Heilung von Skaphoidfrakturen? *Handchir Mikrochir Plast Chir* 32: 115–122
7. Mayr E, Laule A, Suger G et al. (2001) Radiographic results of callus distraction aided by pulsed low-intensity ultrasound. *J Orthop Trauma* 15: 407–414
8. Mayr E, Möckl Ch, Lenich A et al. (2002) Ist niedrig intensiver Ultraschall bei der Behandlung von Frakturheilungsstörungen wirksam? *Unfallchirurg* 105: 108–115
9. Pilla AA, Mont M, Nasser PR et al. (1990) Non-invasive low-intensity pulsed ultrasound accelerates bone healing in the rabbit. *J Orthop Trauma* 4: 246–253
10. Wang SJ, Lewallen DG, Bolander ME et al. (1994) Low-intensity ultrasound treatment increases strength in a rat femur fracture model. *J Orthop Res* 12: 40–47
11. Yang K-H, Parvizi J, Wang S-J et al. (1996) Exposure to low-intensity ultrasound increases aggrecan gene expression in a rat femur fracture model. *J Orthop Res* 14: 802–809