

**Effizienz der radialen Stoßwellentherapie der Tendinosis calcarea der
Rotatorenmanschette
– Eine prospektive Studie –**

Dr. med. Petra Magosch, Dr. med. Sven Lichtenberg,
Prof. Dr. med. habil. Peter Habermeyer

Die Tendinosis calcarea als häufige Ursache von Schulterbeschwerden ist eine stadienhaft ablaufende Erkrankung [20], die in Abhängigkeit des Stadiums und der Symptomatik unterschiedlich therapiert wird.

Der Zeitraum des Spontanverlaufes der Tendinosis calcarea ist individuell verschieden und wird zwischen einigen Monaten bis mehrere Jahre angegeben [14].

1993 wandte Loew erstmals die hoch- und niederenergtische extrakorporale Stoßwelle (ESWT) zur Therapie der Tendinosis calcarea an [11]. Bisher kamen elektrohydraulische, piezoelektrische und elektromagnetische Systeme zum Einsatz.

Seit 2000 kommt eine pneumatisch erzeugte niederenergtische radiale Stoßwelle (RSWT) (ballistisches Prinzip) mit einer Energieflussdichte von 0,16 mJ/mm² im Fokus zum Einsatz.

Das Prinzip der ballistisch erzeugten Stoßwelle besteht in einer extremen Beschleunigung eines sich in einem Lauf befindlichen Projektils mittels Druckluft, welches auf einen Applikator trifft, über den der Energieimpuls in das Gewebe eingeleitet wird.

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Stoßwellenerzeugungsprinzipien liegt der Fokus nicht am Wirkort selbst sondern in der Spitze des Applikators. Die ballistisch erzeugte Stoßwelle breitet sich von der Applikatorspitze radiär mit einer Eindringtiefe von 3,5 cm ohne Fokussierung des Stoßwellenfeldes im Gewebe aus, wodurch der Druck und die Energiedichte mit der dritten Potenz der Eindringtiefe im Gewebe abnehmen und somit wenig zur Behandlung der Tendinosis calcarea der Rotatorenmanschette geeignet scheint [21]. Therapieziel der radialen Stoßwellentherapie der Tendinosis calcarea ist daher nicht die Induktion der Kalkdepotdesintegration, sondern die Schmerzlinderung.

Ziel dieser prospektiven Studie ist die Evaluation der Effizienz der ballistischen RSWT als konservatives Therapieverfahren der chronischen Tendinosis calcarea (Typ Gärtner II) der Rotatorenmanschette der Schulter zur Schmerzlinderung und deren Auswirkungen auf das Kalkdepot.

Material und Methode:

Zwischen 2000 und 2002 wurden 35 Patienten (23 männlich, 12 weiblich) in einem Durchschnittsalter von 47,5 Jahren (33-73 Jahre) mit chronischer Tendinosis calcarea in die prospektive Studie eingeschlossen. Bei 22 Patienten war die rechte, bei 13 Patienten die linke Schulter von der Erkrankung betroffen.

Einschlusskriterien stellten die erfolglose konservative Behandlung bei einer Mindestdauer der Symptome von mehr als 6 Monaten, ein Kalkdepot Typ Gärtner II [3] bei einer Kalkdepotgröße II oder III nach Bosworth [1] und ein Acromiontyp 1 oder 2 nach Bigliani dar. Adipöse Patienten, Patienten mit Arthrose des AC-Gelenkes sowie des Glenohumeralgelenkes und Patienten mit begleitender Rotatorenmanschtnenruptur wurden aus der Studie ausgeschlossen.

Vor der Stoßwellenbehandlung wurde neben der klinischen Untersuchung die Diagnose der Tendinosis calcarea mittels Röntgen in 3 Ebenen (true-ap-, axiale, y-view-Aufnahme) gesichert. Bei allen Patienten erfolgte der Ausschluß einer Rotatorenmanschtnenruptur mittels MRT.

Die durchschnittlichen Beschwerdedauer betrug 28 Monaten (6-120 Mo). Das Depot war bei 33 Patienten in der Supraspinatussehne (loco typico) und bei 2 Patienten in der Infraspinatussehne lokalisiert. 29 Patienten wiesen eine Kalkdepotgröße Grad 2 und 6 Patienten wiesen eine Kalkdepotgröße Grad 3 nach Bosworth (größter Durchmesser) auf (Durchschnitt 16,6mm; 7-37mm). 15 Patienten zeigten in der y-view-Aufnahme ein Acromiontyp 1 und 20 Patienten zeigten ein Typ 2 Acromion nach Bigliani. Der acromiohumerales Abstand betrug durchschnittlich 10,4 mm (7-13 mm).

Die ballistisch erzeugte niederenergetische Stoßwellentherapie (Swiss DolorClast®, EMS Medical GmbH; EFD=0,16mj/mm²) erfolgte am liegenden Patienten bei 30-45° innenrotiertem Arm ohne Lokalanästhesie. Der Stoßwellenapplikator wurde im Dialog mit dem Patienten über dem Bereich des

maximalen Druckschmerzes positioniert. Es wurden jeweils 2000 Impulse mit einem Arbeitsdruck von 2,0 bar und einer Arbeitsfrequenz von 8 Hz unter mittlerem Anpressdruck des Applikators appliziert. Alle 35 Patienten wurden 3 mal im Abstand von 7-10 Tagen mittels RSWT behandelt.

Nebenwirkungen wie Hautirritationen, Petechien, Hämatome oder Schwellungen wurden bei keinem Patienten beobachtet.

Unter der Behandlung wurden keine physiotherapeutischen Maßnahmen durchgeführt und die Patienten wurden angewiesen Überkopfsportarten bis 1 Woche nach der 3. Stoßwellenbehandlung zu meiden. Nach der ersten Kontrolluntersuchung (4 Wochen nach der letzten Stoßwellenapplikation) begann die zusätzliche physiotherapeutische Behandlung mittels manueller Therapie und Wärmepackung.

Alle Patienten (100%) wurden 4 Wochen, 3, 6 und 12 Monate nach Durchführung letzten RSWT klinisch und radiologisch nachuntersucht. Die funktionellen Ergebnisse wurden mittels ungewichtetem Constant Score dokumentiert. Die Kraft wurde mit Hilfe des Isobex bei 90° abduziertem Arm in der Scapulaebene gemessen. Die standardisierte Röntgen-Untersuchung wurde in 3 Ebenen (true-ap-, axiale, y-view-Aufnahme) durchgeführt.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit StatView (Abacus Concepts, Inc., Berkeley, Calif.). Der Student's T-Test für verbundene Stichproben wurde für die Veränderung der Schulterfunktion, der Chi²-Test wurde für die Veränderung der subjektiven Schmerzsymptomatik und für die Desintegration des Kalkdepots sowie die Spearmans Rank Correlation wurde für den Zusammenhang zwischen Veränderung der Schmerzsymptomatik und der Desintegration des Kalkdepots durchgeführt.

Ergebnisse:

Funktionell kam es zu einer signifikanten ($p < 0,0001$) Verbesserung des Constant Scores von durchschnittlichen 68,5 Punkten (46,2-80,6 Punkte; max. 100 Punkte) vor der Behandlung auf 80,5 Punkte (58,3-96,1 Punkte) 4 Wochen nach der Behandlung. Betrachtet man die einzelnen Kategorien Schmerz, Aktivität im täglichen Leben, Bewegungsausmaß und Kraft so findet sich 4 Wochen nach der Behandlung eine signifikante Schmerzlinderung ($p = 0,0037$) mit einem Punktanstieg von durchschnittlichen 6,9 Punkten (1-12 Punkte; max.

15 Punkte) vor der Behandlung auf 10 Punkte (0-15 Punkte) nach der Behandlung, eine signifikante Verbesserung ($p < 0,0001$) der alltäglichen Aktivität von durchschnittlich 10,4 Punkten (1-18 Punkte; max. 20 Punkte) auf mittlere 16 Punkte (7-20 Punkte), eine signifikante Verbesserung ($p = 0,02$) des Bewegungsausmaßes von 36 Punkten (26-40 Punkte; max. 40 Punkte) auf durchschnittliche 38 Punkte (36-40 Punkte). 4 Wochen nach der Behandlung wurde eine durchschnittliche Kraftzunahme von 1,3 Kg beobachtet ($p = 0,2$).

Im weiteren Verlauf blieb der Constant Score 3 Monate nach der Behandlung mit durchschnittlichen 74,7 Punkten (46,7-95,8 Punkte; $p = 0,9$), 6 Monate mit mittleren 78,9 Punkten (46,7-100 Punkte; $p = 0,5$) und 1 Jahr nach Durchführung der RSWT mit durchschnittlichen 79,7 Punkten (62,6-100 Punkte; $p = 0,9$) annähernd konstant.

25,7% der Patienten waren nach 4 Wochen schmerzfrei, bei 54,3% wurde eine Schmerzlinderung erzielt, 14,2% litten unter einer unveränderten Schmerzsymptomatik und in 5,7% kam es zu einer Schmerzexazerbation. 3 Monate nach der Behandlung kam es zu einer weiteren signifikanten Verbesserung ($p < 0,0001$) der Schmerzsymptomatik ($n = 35$). 50% der Patienten waren schmerzfrei und 14,3% der Patienten berichteten eine Schmerzlinderung, 30,7% litten unter einer unveränderten Schmerzsymptomatik und bei 3 Patienten nahmen die Schmerzen zu (10,7%). Auch 6 Monate nach RSWT ($n = 34$) konnte eine weitere signifikante Schmerzreduktion ($p = 0,003$) beobachtet werden. Zur 6-Monatskontrolle waren 59,3% der Patienten schmerzfrei, 25,9% berichteten eine weitere Schmerzlinderung und 14,8% der Patienten litten unter einer unveränderten Schmerzsymptomatik. Bei keinem Patienten kam es zu einer Verschlechterung der Schmerzsymptomatik. 12 Monate nach der Behandlung ($n = 32$) kam es bei 80,8% zu einer Schmerzfreiheit und bei 19,2% trat eine Schmerzlinderung ein. Kein Patient berichtete eine unveränderte Schmerzsymptomatik (Abb. 1).

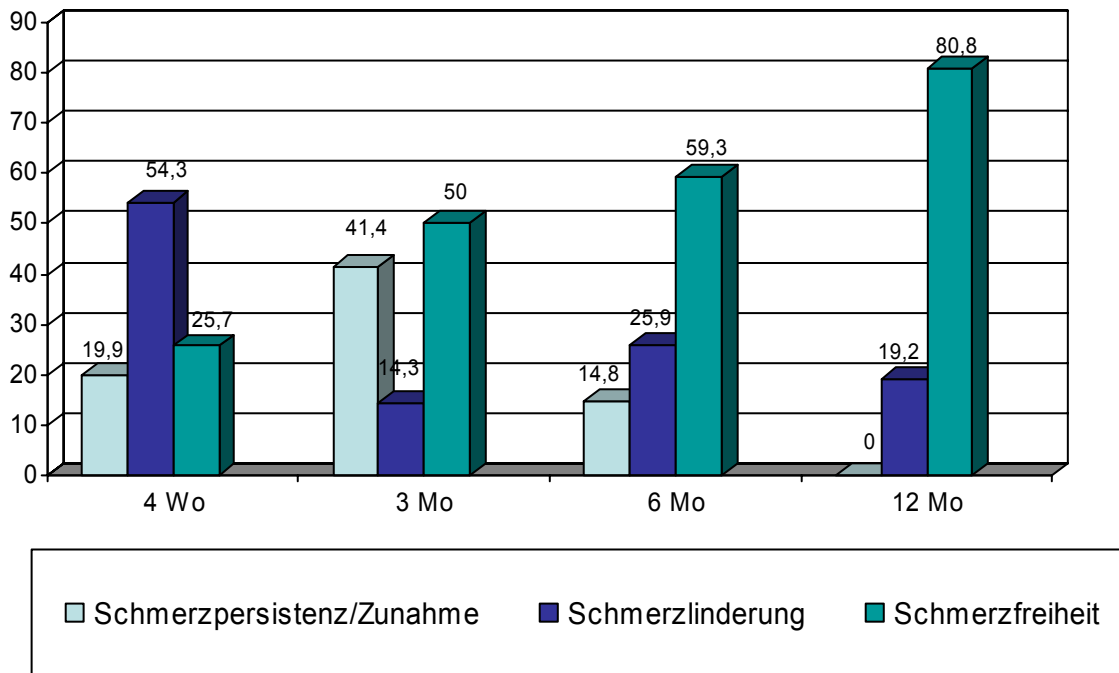


Abb 1: Veränderung der Schmerzsymptomatik

Radiologisch konnte 4 Wochen nach der Behandlung bei 17,6% der Patienten kein Kalkdepot mehr nachgewiesen werden. Bei 20,5% kam es zu einer Desintegration des Kalkdepots mit Veränderung des Stadiums von Gärtner 2 nach 3 in 4 Fällen und Verkleinerung des Kalkdepots bei gleichem Stadium in 3 Fällen. Bei 61,8% der Patienten wurde ein unverändertes Kalkdepot vorgefunden. 3 Monate nach RSWT wiesen 44,8% der Patienten kein Kalkdepot mehr auf, in 6,9% wurde eine Desintegration des Depots mit Verkleinerung des Kalkdepots bei unverändertem Stadium in 3 Fällen und bei 48,3% der Patienten wurde ein unverändertes Kalkdepot beobachtet.

Nach 6 Monaten zeigten 30,4 % der Patienten ein unverändertes Kalkdepot, bei 4,4% der Patienten (1 Patient) erfolgte eine Desintegration des Kalkdepots von Stadium Gärtner 2 nach 3 ohne Veränderung des Durchmessers und 65,3% der Patienten wiesen kein Kalkdepot auf.

Im weiteren Verlauf fanden wir bei 75% eine vollständige Resorption des Depots und in 25% ein unverändertes Depot nach 12 Monaten vor.

Im Verlauf wurde zu jedem Nachuntersuchungszeitpunkt bis 6 Monate eine signifikante Desintegration (jeweils $p < 0,0001$) des Kalkdepots beobachtet. Auch 12 Monate nach RSWT kam es noch zu einer deutlichen Kalkdepotveränderung ($p = 0,0507$) (Abb. 2).

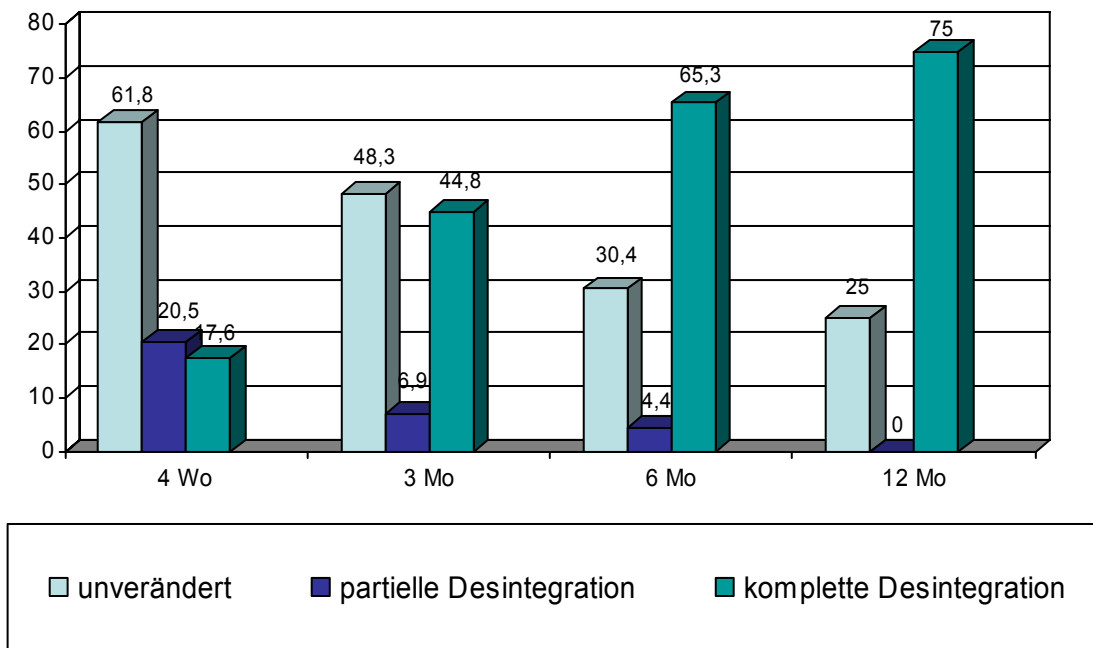


Abb 2: Veränderung des Kalkdepots

Zu jedem Nachuntersuchungszeitpunkt fanden wir eine Korrelation (Spearman Rank Correlation) zwischen Veränderung des Schmerzes und Veränderung des Kalkdepots. 4 Wochen nach RSWT lag die Korrelation bei 0,523 ($p=0,0031$), 3 Monate nach RSWT fanden wir eine Korrelation von 0,71 ($p=0,0002$). Nach 6 Monaten lag die Korrelation bei 0,959 ($p<0,0001$) und nach 12 Monaten fand sich eine Korrelation zwischen Veränderung Schmerzsymptomatik und Kalkdepotveränderung von 0,83 ($p<0,0001$).

Innerhalb der ersten 4 Wochen nach der 3. Stoßwellenbehandlung erfolgte bei 2 Patienten eine Exazerbation der Tendinosis calcarea mit massiv schmerzhaft verlaufender Kalkdesintegration. Die Schmerzsymptomatik konnte in dieser akuten Phase nur mit lokaler Infiltration eines Lokalanästhetikums mit einem Kortikoid und oraler Opiod-Medikation beherrscht werden. Bei 1 der beiden Patienten trat die Exazerbation 1 Woche nach der Behandlung ein. Zur 4 Wochenkontrolle wurde bereits eine deutliche Schmerzlinderung berichtet und das Kalkdepot (13 mm Durchmesser vor der Behandlung) war bereits resorbiert. Bei 1 Patienten erfolgte die Exazerbation 4 Wochen nach der letzten Behandlung. Der Patient stellte sich zur 4 Wochenkontrolle mit einer unveränderten Schmerzsymptomatik und unverändertem Kalkdepot im

Röntgenbild (Durchmesser 23 mm) vor. 3 Tage nach der 4 Wochenkontrolle erfolgte die schmerzhaft Resorption des Kalkdepots, welches 3 Monate nach der Behandlung im Röntgenbild nicht mehr nachweisbar war. Zu diesem Zeitpunkt war der Patient bereits völlig schmerzfrei.

Insgesamt unterzogen sich 3 Patienten (8,5%) bei unveränderter Schmerzsymptomatik und unverändertem Kalkdepot im Röntgenbild 3,7 und 8 Monate nach RSWT einer arthroskopischen Kalkdepotexstirpation.

Diskussion:

Loew wandte erstmals die extrakorporale Stoßwelle bei der Tendinosis calcarea der Schulter an [8]. Zwischenzeitlich liegen einige klinische Studien zur hochenergetischen Stoßwellentherapie der Tendinosis calcarea der Rotatorenmanschette vor, die eine schmerzlindernde Wirkung mit Funktionsverbesserung der Schulter sowie einer Induktion der Kalkdepotdesintegration belegen [9, 15, 17].

So erzielte Loew et al. bei 20 Patienten mit 12 monatiger Beschwerdedauer und frustraner konservativer Therapie bei einem homogenen Kalkdepot Typ II nach DePalma mit einer elektrohydraulisch erzeugten zweimaligen hochenergetischen Stoßwelleapplikation von jeweils 2000 Impulsen nach 3 Monaten in 75% der Fälle eine Schmerzlinderung und Funktionsverbesserung der Schulter mit einem Constant Score von 69 Punkten sowie einer Kalkdepotdesintegration von 95% [9]. Mit der 3 malig niederenergetisch applizierten 2000 Impulsen der RSWT erreichten wir mit 64,3% weniger häufig eine Schmerzlinderung. Die funktionellen Ergebnisse unserer Studie sind 3 Monate nach der Behandlung mit einem Constant Score von 74,7 Punkten vergleichbar. Die Desintegration des Kalkdepots liegt jedoch 3 Monate nach RSWT in unserer Studie mit 51,7% deutlich unter dem Erfolg der hochenergetischen ESWT.

6 Monate nach einmaliger hochenergetischer (EFD 0,28 mJ/mm²) elektromagnetisch erzeugter Stoßwellenbehandlung mit 1500 Impulsen fanden Rompe et al. bei 40 Patienten mit durchschnittlicher Beschwerdedauer von 25 Monaten bei einer Tendinosis calcarea der Supraspinatussehne mit einem

mindestens 10mm messenden scharf umrandeten dichten Kalkdepots bei 60% der Patienten eine Schmerzlinderung und Funktionsverbesserung der Schulter mit einem Constant Score 76,9 Punkten und einer Desintegration des Kalkdepots in 72,5% der Fälle [15]. Wir beobachteten in unserer Studie 6 Monate nach Stoßwellentherapie bei nahezu vergleichbarem Patientengut eine Schmerzlinderung bzw. Schmerzfreiheit 85,2% der Patienten mit einem nahezu gleich gutem Constant Score von 78,9 Punkten sowie einer geringradig niedrigeren Kalkdepotdesintegrationsrate von 69,7%.

Anhand einer weiteren prospektiven Studie an 100 Patienten mit durchschnittlicher Beschwerdedauer von 28 Monaten (mind. 12 Monate) und einem Durchmesser von mind. 10 mm im Röntgenbild in mindestens einer Ebene berichten Rompe et al. über einen 12 monatigen erfolgreichen Verlauf nach Stoßwellentherapie. Sie applizierten einmalig 1500 Impulse einer hochenergetischen Stoßwelle ($EFD=0,28 \text{ mJ/mm}^2$) mit einer Folgefrequenz von 2 Hz. Bereits 3 Wochen nach ESWT wurde eine signifikante Verbesserung des Constant Scores vor allem der Kategorien Schmerz, Aktivität im täglichen Leben und Kraftentwicklung beobachtet. Innerhalb eines Jahres stieg der Constant Score von durchschnittlichen 43 Punkten auf 78 Punkte an. Bei 57% ihrer Patienten wurde radiologisch mindestens eine Desintegration des Kalkdepots beobachtet. In 19% der Fälle kam es zu einer kompletten Resorption [16]. Mit der niederenergetischen RSWT ließen sich in unserer Studie innerhalb von 12 Monaten mit durchschnittlichen 79,7 Punkten vergleichbare funktioneller Ergebnisse erzielen, wohingegen wir eine deutlich höhere Resorptionsrate von 75% beobachteten. Auch die subjektiven Ergebnisse der Studie von Rompe et al. sind mit subjektiven Ergebnissen vergleichbar.

Durch alleinige Variation der Energieflussdichte ($EFD 0,06 \text{ mJ/mm}^2$ bzw. $EFD 0,28 \text{ mJ/mm}^2$) bei sonst gleichem Behandlungsprotokoll untersuchten Rompe et al. den Einfluss der Energieflussdichte auf das Therapieergebnis der Tendinosis calcarea. Nach 6 Monaten fand sich mit 64% eine signifikant häufigere partielle oder komplette Kalkdepotdesintegration in der hochenergetisch behandelten Patientengruppe im Vergleich zu 50% in der niedrigenergetisch behandelten Gruppe. Funktionell fand sich in der hochenergetisch behandelten Gruppe ein signifikant höherer Constant Score mit 88 Punkten im Vergleich zu 71 Punkten

der niedrigerenergetisch behandelten Patientengruppe. Die Autoren sehen jedoch den Vorteil der niederenergetischen Stoßwellentherapie im Verzicht auf eine Pexusanästhesie gerade für cardial oder pulmonal risikobehaftete Patienten [17].

Seil et al. schlossen aus einer prospektiv randomisierten Studie, bei welcher 50 Patienten 3 malig 5000 Impulse einer niederenergetischen Stoßwelle oder 1 malig 5000 Impulse einer hochenergetischen Stoßwelle erhielten, daß es die Ergebnisse der einmalig hochenergetischen Stoßwellenbehandlung mit der mehrfach niederenergetisch durchgeführten Stoßwellenbehandlung vergleichbar sind. 6 Monate nach der Behandlung erzielte die niederenergetisch behandelte Gruppe eine Constant Score von 77,5 Punkten und die hochenergetisch behandelte Gruppe einen Constant Score von 79,4 Punkten. Bei 32% der niederenergetisch behandelten Patienten fand sich radiologisch eine komplette oder subtotale Resorption des Kalkdepots. In der hochenergetisch therapierten Gruppe lag diese Rate bei 48% [19].

Loew et al. belegten in einer randomisierten prospektiven Studie mit 3 verschiedenen Behandlungsprotokollen, dass die subjektiven, funktionellen und radiologischen Ergebnisse nach Stoßwellenbehandlung energie- und dosisabhängig sind. Hierzu untersuchten sie 171 Patienten mit einer Beschwerdedauer von mindestens 12 Monaten, einer Kalkdepotgröße von mindestens 1,5 cm und Kalkdepottyp Gärtner I oder II. Die Patienten wurden in Hauptgruppen randomisiert: eine Kontrollgruppe ohne Behandlung, eine einmalige Behandlung mit 2000 Impulsen einer niedrigerenergetische elektrohydraulisch erzeugte Stoßwelle (EFD 0,1mJ/mm²), eine einmalige Behandlung mit 2000 Impulsen einer elektrohydraulisch oder elektromagnetisch erzeugten hochenergetisch (EFD 0,3 mJ/mm²) Stoßwelle, eine zweimalige Behandlung einer mit 2000 Impulsen einer elektrohydraulisch oder elektromagnetisch erzeugten hochenergetisch (EFD 0,3 mJ/mm²) Stoßwelle. 3 Monate nach der Behandlung wiesen die Patienten ohne Therapie einen Constant Score von 47,8 Punkten, die Patienten, welche mit der niederenergetischen Stoßwelle therapiert wurden einen Constant Score von 51,6 Punkten, die Patientengruppe mit hochenergetisch einmaliger Behandlung einen Constant Score von 63,7 Punkten und die Patienten mit zweimaliger hochenergetischer Therapie einen Constant Score von 68,5 Punkten auf. Über

eine Schmerzlinderung 3 Monate nach durchgeführter Therapie berichteten 30% der niederenergetisch behandelten Patienten berichteten eine Schmerzlinderung, 60% der einmalig hochenergetisch behandelten und 70% der zweimalig hochenergetisch behandelten Patienten. Radiologisch wurde eine Desintegration des Kalkdepots bei 20% der niederenergetisch behandelten Patienten, bei 55% der einmalig hochenergetisch behandelten Patienten und bei 60% der zweimalig hochenergetisch behandelten Patienten. Nach 6 Monaten fand Loew et al. bei einmalig hochenergetisch behandelten Patienten in 47% der Fälle und bei zweimalig hochenergetisch behandelten Patienten in 77% der Fälle eine Kalkdepotdesintegration. Der Constant Score lag bei den einmalig hochenergetisch behandelten Patienten bei 67,7 Punkten und in der Gruppe der zweimalig hochenergetisch behandelten Patienten bei 69,6 Punkten. Eine Schmerzlinderung ließ sich in der einmalig hochenergetisch behandelten Patientengruppe in 45% der Fälle und in 53% der Fälle in der zweimalig hochenergetisch behandelten Patientengruppe nach 6 Monaten erzielen [11].

Die subjektiven, funktionellen sowie radiologischen Ergebnisse der einmalig niederenergetisch behandelten Gruppe lag mit einer Schmerzlinderungsrate von 30%, einem Constant Score von 51,6 Punkten und einer Kalkdepotdesintegrationsrate von 20% 3 Monate nach der Behandlung deutlich unter dem funktionellen und radiologischen Ergebnis unserer Studie. Bei vergleichbarem Patientengut wendeten wir eine 3 malige niederenergetische Therapie mit jeweils 2000 Impulsen an, welches zumindest die Dosisabhängigkeit des Therapieerfolges zu bestätigen scheint.

Dahmen et al. [2] therapierten die Tendinosis calcarea der Schulter mit einer niederenergetischen Stoßwelle. Bei allen Patienten kam es zu einer Beschwerdelinderung und Verbesserung der Schultergelenksbeweglichkeit, ohne daß röntgenologische Veränderungen des Kalkdepots beobachtet wurden. Diese Beobachtung bestätigte sich in unserer Studie innerhalb der ersten 4 Wochen nach niederenergetischer Stoßwellenbehandlung. So berichteten 28 von 35 Patienten über eine Schmerzlinderung bzw. Schmerzfreiheit, wohingegen bei 21 Patienten ein radiologisch unverändertes Kalkdepot beobachtet wurde. 3, 6 und 12 Monate nach RSWT fand sich in

unserer Studie eine enge Korrelation zwischen Veränderung der Schmerzsymptomatik und radiologischer Desintegration des Kalkdepots.

Maier M et al. [12] wiesen nach, daß die Kalkdepotgröße sowie dessen Morphologie vor der Behandlung das funktionelle Ergebnis der niederenergetischen Stoßwellentherapie nicht beeinflusst. Sie behandelten 65 Schultern 4 malig mit jeweils 2000 Impulsen und 2 Hz mit einer niederenergetischen Stoßwelle. Nach einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 18,2 Monaten fand sich eine signifikante funktionelle Verbesserung der behandelten Schulter mit einem Constant Score von 78%.

Durch die radiäre Ausbreitung der ballistischen Stoßwelle nehmen Druck und Energiedichte mit der dritten Potenz der Eindringtiefe in das Gewebe ab. Draus schloß Gerdesmeyer et al. [4] daß die ballistisch erzeugte niederenergetische Stoßwelle wenig geeignet zur Therapie der Tendinosis calcarea der Schulter als pathologische Veränderung in tiefer gelegenen Schichten erscheint. Die Ergebnisse unserer prospektiven Studie scheinen diese Vermutung zu widerlegen, wobei jedoch adipöse Patienten aus unserer Studie ausgeschlossen wurden und der mechanische Wirkmechanismus der radialen niederenergetischen Stoßwelle nicht sicher geklärt ist. Vergleicht man die Ergebnisse unserer Studie mit den Ergebnissen niederenergetischer elektrohydraulisch, elektromagnetisch oder piezoelektrisch erzeugter Stoßwellen, so scheint es unerheblich nach welchem Prinzip die Stoßwellen erzeugt werden.

Auch die offensichtliche Induktion der Kalkdepotdesintegration mittels niederenergetisch ballistisch erzeugter radialer Stoßwellentherapie widerspricht nach dem Wissensstand experimenteller Studien unseren Erwartungen.

Für die hoch- und mittelenergetische elektromagnetisch, elektrohydraulisch und piezoelektrisch erzeugte Stoßwelle liegen bereits zahlreiche experimentelle, tierexperimentelle und klinische Studien vor. Der molekulare Wirkmechanismus dieser Verfahren ist jedoch noch weitgehend ungeklärt.

Positive Effekte bei unterschiedlichen Krankheitsbildern bestätigen die Vermutungen, dass unterschiedliche Wirkmechanismen zum Tragen kommen [16].

In vitro wurde nachgewiesen, dass hochenergetische Stoßwellen Nervenaktionspotentiale induzieren können [18], welches eine Freisetzung von Substanz P aus nicht myelinisierten Nervenfasern ermöglicht. Substanz P kann peripher eine neurogene Entzündung [7], eine Plasmaextravasion [22] und eine Stimulation unterschiedlicher Zellproliferationen [5] induzieren. Der initiale Anstieg der Substanz P Konzentration in der Zone der Stoßwellenfokussierung mit nachfolgender langanhaltender Konzentrationsminderung stellt eine mögliche Erklärung für den ESWT induzierten initialen Schmerzreiz mit nachfolgender langanhaltender Analgesie [13].

In biologischen Geweben wird der extrakorporalen Stoßwelle neben untergeordneten thermischen und chemischen Effekten eine mechanische Wirkung proportional zur Größe des Impedanzunterschiedes an Grenzflächen unterschiedlicher Gewebe zugeschrieben [6, 10]. Da der Druck und die Energiedichte mit der dritten Potenz der Eindringtiefe der radialen Stoßwelle im Gewebe abnimmt, scheint eine mechanische Wirkung, sowie Kavitationsphänomene der ballistisch erzeugten Stoßwelle bei der Tendinosis calcarea eher unwahrscheinlich.

Die niederenergetisch ballistisch erzeugte radiale Stoßwellentherapie führt bereits innerhalb der ersten 4 Wochen bis zu einem Verlauf von 12 Monaten zu einer signifikanten Schmerzlinderung und scheint wiedererwarten eine Resorption des Kalkdepots zu induzieren, während nur innerhalb der ersten 4 Wochen eine signifikante Verbesserung der Schulterfunktion erzielt wird. Vergleicht man die klinischen und radiologischen Ergebnisse 6 Monate und 12 Monate nach einmaliger hochenergetischer Stoßwellentherapie mit den Ergebnissen 6 Monate und 12 Monate nach dreimaliger niederenergetischer Stoßwellentherapie der Tendinosis calcarea so scheinen beide Therapieverfahren vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, welches eine Dosisabhängigkeit des Therapieerfolges unabhängig vom Prinzip der Stoßwellenerzeugung vermuten lässt.

Es bleibt zu klären, ob der bisher unbekannte molekulare und mechanische Wirkmechanismus der niedrigerenergetischen ballistisch erzeugten Stoßwelle denjenigen der hochenergetisch elektrohydraulisch, elektromagnetisch oder piezoelektrisch erzeugter Stoßwellen ähnlich ist. Die klinischen und

radiologische Ergebnisse unserer Studie müssen mit Hilfe weiterer klinischer Studien verifiziert werden.

Insgesamt ist die niederenergetische radiale Stoßwelle zur konservativen Therapie der chronischen Tendinosis calcarea der Supraspinatussehne als komplikationsloses und deutlich schmerzärmeres Verfahren der hochenergetischen Stoßwellenbehandlung vorzuziehen.