

## Die extrakorporale Stoßwellentherapie ( ESWT ) und ihre physikalische Grundlagen

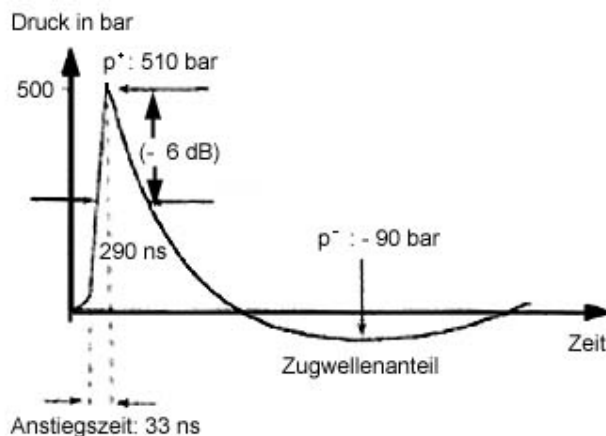
### Einleitung

Bereits seit 20 Jahren werden Stoßwellen therapeutisch genutzt. Die ersten Anwendungsgebiete fanden sich in der Humanmedizin im Bereich der minimal invasiven Harn- und Gallensteinzertrümmerung. Die kontinuierliche Forschungsarbeit der letzten Jahre erweiterte jedoch das Anwendungsgebiet der ESWT.

Seit Beginn der 90er Jahre wird die ESWT auch zur Behandlung von Erkrankungen des Bewegungs- und Haltungsapparates eingesetzt. Krankheitsbilder wie die Tendinosis calcarea (Sehnenverknöcherung der Schulter), Fasciitis plantaris (Fersensporn) sowie der Tennisellenbogen (Epicondylitis humeri radialis) gehören zu gesicherten Indikationen für den orthopädischen Einsatz der Stoßwellenbehandlung.

### Das Prinzip

Ähnlich wie wir es von den Ultraschallwellen kennen, sind auch Stoßwellen in der Lage, biologisches Gewebe zu durchdringen. Rein physikalisch gesehen besteht die Stoßwelle aus zwei Phasen. Zunächst entsteht bei der Stoßwellenerzeugung ein dominierender Druckpuls, welcher innerhalb weniger Nanosekunden steil auf bis zu hundert Megapascal ansteigt. Dieser wird gefolgt von einem länger andauernden 'Zugwellenanteil'. Das bedeutet, daß es nach einem rapiden Abfall des Druckwellenpeaks zu einer kurzzeitigen Umkehr der Druckverhältnisse kommt; ein Unterdruck entsteht. Die Stoßwelle erhält dadurch ein charakteristisches Aussehen.



Solche Schallwellen lassen sich in Wasser sehr effektiv reproduzieren. Generell können bei der Erzeugung der Stoßwellen drei Systeme unterschieden werden.

Das **elektromagnetische** Verfahren beruht auf dem Prinzip eines Unterwasserlautsprechers. Dabei kommt es zur plötzlichen Auslenkung einer Membran durch Wirbelstromerzeugung. Das geschieht, indem man einen primären Stromstoß durch eine Flachspule leitet, was zur kurzzeitigen Erzeugung eines magnetischen Feldes in deren Umfeld führt. Der Ausschlag der Membran führt in der angrenzenden Flüssigkeit zur Entstehung und Ablösung einer Druckwelle.

Eine ähnliche Druckwelle läßt sich durch die Längenveränderung sogenannter **piezoelektrischer** Kristalle erzeugen. Hierbei handelt es sich um anisotrope Quarze oder Titane, welche die Eigenschaft besitzen, auf das Anlegen einer elektrischen Spannung mit Verformung zu reagieren.

Das dritte und vermutlich gängigste Verfahren der Stoßwellengeneration ist das **elektrohydraulische** Prinzip. Dabei kommt es während einer Unterwasserentladung eines Hochspannungsfunkens zur explosionsartigen Ausbreitung des ionisch leitfähigen Funkenkanals. Durch die schlagartige Entstehung eines heißen expandierenden Plasmas löst sich bei entsprechender Expansionsgeschwindigkeit eine Stoßfront von der Plasmablase, welche durch das angrenzende Wasser in das zu therapierende Gewebe übertragen werden kann. Die entstandene Stoßfront ist unabhängig vom zugrundeliegenden Erzeugungsprinzip zunächst kugelförmig expandierend. Um die Stoßwelle jedoch therapeutisch nutzbar zu machen, bedarf es der Fokussierung auf den zuvor lokalisierten Gewebsdefekt. Die Fokussierung ist dabei einerseits notwendig, um die gesamte Energie der Stoßwelle im Bereich des Gewebsdefektes zu konzentrieren und andererseits, um das umliegende gesunde Gewebe zu schützen.

Während **elektromagnetisch** erzeugte Stoßwellen in der Regel mit Hilfe einer akustischen Linse fokussiert werden, kann man **piezoelektrische** Kristalle in halbkugelförmiger Weise anordnen, so dass ein selbstfokussierender Stoßwellengenerator entsteht.

Im Falle der **elektrohydraulischen Stoßwellenerzeugung** eignet sich im allgemeinen ein metallisches, zu einer Seite offenes und wassergefülltes Rotationsellipsoid, welches durch Reflexion und Beugung die primär divergierende Stoßwellenfront in eine auf einen Fokuspunkt hin konvergierende verwandelt. Dieser Fokuspunkt hat in Abhängigkeit vom verwendeten Gerät eine Größe zwischen 1 und 3 Quadratzentimeter.

Der Energieverlust dieser Vorgänge bleibt gering; nur ca. 10 bis 15 Prozent der primär divergierenden Stoßwellen verlassen unfokussiert die Ellipsoidöffnung. Der Druckpuls der fokussierten Stoßfront enthält somit mindestens 85% der gesamt erzeugten Stoßwellenenergie, was von entscheidender Wichtigkeit für die Wirksamkeit der Stoßwellenbehandlung ist.

### **Interaktionen zwischen Gewebe und Stoßwellen**

Wie bereits erwähnt sind Stoßwellen in der Lage, biologisches Gewebe zu durchdringen. Dabei kann es in Abhängigkeit vom durchdrungenen Material jedoch unter Umständen zur erheblichen Modifizierung der zeitlichen Pulsform sowie der räumlichen Geometrie der Wellen kommen. Brechungs-, Beugungs-, Streuungs- und Dämpfungsvorgänge nehmen Einfluß auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit und Reichweite der Stoßwellen, ebenso wie wir es von der Ultraschallwellen kennen, und setzen der Anwendung gewisse physikalische Grenzen.

Von besonderer Wichtigkeit sind auch sogenannte akustische Grenzflächen im Gewebe, also Bereiche, an welchen zwei Materialien unterschiedlicher akustischer Dichte aneinandergrenzen. An eben diesen Bereichen kommt es aufgrund des großen Impedanzsprungs zur Freisetzung thermischer und auch kinetischer Energie.

Der Druckanteil der Stoßwelle führt dabei zur Kompression des umgebenden Gewebes; der gleich im Anschluß folgende Unterdruck der Zugwelle hingegen führt zur Ausbildung von Zugkräften. Beides geschieht in extrem schnellem zeitlichen Wechsel und nimmt Einfluß auf die Mikrostruktur des behandelten Gewebes.

Diese Erkenntnis erklärt auch, warum nicht nur die gesamt applizierte Energie pro Fokusfläche ( $\text{mJ}/\text{mm}^2$ ), sondern auch die Pulsrate einer Stoßwellenbehandlung für den Erfolg der Therapie mitentscheidend ist. Man bezeichnet diesen Effekt als 'Fraktionierung der Gesamtenergie'.

Neben der mechanischen Verformung als direktem Effekt, beruht die Wirksamkeit der Stoßwelle auch noch auf einem indirekten Wirkprinzip. So kommt es in Flüssigkeiten sowie in flüssigkeits- und auch in gashaltigen Materialien unter dem Einfluß hoher Zugspannungen zur Entstehung sogenannter Kavitationsblasen (**Kavitationsphänomen**). Dabei bilden sich kurzfristig kleine Hohlräume, die in der nachfolgenden Druckphase wieder in sich zusammenfallen. Dieser Kollaps kann seinerseits zur Erzeugung neuer Stoßwellen und durch den generierten Druckanstieg zur Ausbildung hochenergetischer **Flüssigkeitsjets** führen.

## Die praktische Anwendung der ESWT

Die Anwendung der ESWT ist denkbar leicht und mit der Handhabung eines Ultraschallgerätes vergleichbar. Die in der Veterinärmedizin zur Anwendung gelangenden Geräte sollten robust und trotzdem flexibel sein. In der Regel besteht ein solches Gerät aus einem fahrbaren Korpus und einem mittels Kabel verbundenen, auswechselbaren Therapiekopf. In diesem werden einerseits die Stoßwellen erzeugt, andererseits die Ankopplung an das zu therapierende Gewebe ermöglicht. Der Behandlungskopf des Stoßwellengerätes wird hierbei mit Hilfe eines Wasserkissens an das Tier angesetzt. Um eine luftblasenfreie Ankopplung zu gewährleisten, wird genau wie bei der Ultraschalluntersuchung die Kontaktfläche zunächst rasiert und anschließend mit üblichem Ultraschallgel bedeckt. Da die Lokalisation des Therapiegebietes zuvor in der Regel mit Hilfe einer Ultraschalluntersuchung erfolgt, bedeuten diese therapievorbereitenden Maßnahmen keine zusätzliche Mehrarbeit. Im Bereich des Strahlbeines sind zwei Applikationszugänge möglich. Einmal im Bereich der Fesselbeuge und ein zweiter Zugang über die Sohlenfläche des Hufes. Der Huf muss für diese Behandlung stark gekürzt und mit Wasser vorher entsprechend aufgeweicht worden sein.

Die Frequenz sowie die Gesamtenergie der Stoßwellen ist am Gerät regulierbar und wird entsprechend der Indikation variiert. Erfahrungsgemäß dauert eine Behandlung zwischen 5 und maximal 20 Minuten. Die Tiere werden für diese Zeit in normaler Dosierung sediert und tolerieren die Therapie absolut unkompliziert.

Die Indikationsgebiete der Veterinärmedizin leiten sich aus den Wirkmechanismen und humanmedizinischen Erfahrungen ab. Gesicherte Erfolge dieser Behandlungsmethode finden sich im Bereich der Tendopathien mit und ohne Kalzifizierungen, bei Insertionsdesmopathien, bestimmten Arthropathien und Exostosen.

Weitere Anwendungsgebiete sind Nackenbandverkalkungen, Griffelbeinexostosen und der Komplex des *Podotrochlosesyndroms*.

## Wirkprinzip

Welche Wirkungsprinzipien dem therapeutischen Effekt der Stoßwellenbehandlung zugrundeliegen ist weder in der Human- noch in der Veterinärmedizin bis ins Detail geklärt. Sicher scheint, daß die Stoßwelle durch Hyperstimulation der Axone des behandelten Gewebes und eine dadurch hervorgerufene Erhöhung der Schmerzschwelle einen analgetischen Effekt induziert. Man bezeichnet diesen Vorgang als '*Gate Control Theory*'. Bei der Behandlung des Podotrochlosesyndroms, wie auch bei verschiedenen Insertionsdesmopathien, trägt die mechanische Auflockerung verkalktem oder narbig indurierter Band- und Sehngewebe offensichtlich sehr zur Verbesserung des klinischen Bildes bei. Die röntgenologischen Veränderungen sind nur in Einzelfällen zu verringern. Der klinische Effekt steht bei dieser Behandlung im Vordergrund.

Neben der bereits angeführten Beeinflussung der Mikrostruktur der behandelten Gewebe scheint ferner eine Stimulation der *Vaskularisierung*, eine *Neovaskularisation* und die *Anregung metabolischer Prozesse* zum therapeutischen Effekt dieser Behandlungsmethode beizutragen.

Sicherlich bedarf es auch in Zukunft weiterer Forschungsarbeit, um bestimmte Indikationen wissenschaftlich zu sichern und die genauen Auswirkungen der Stoßwellen zu verstehen. Erfahrungen der vergangenen Jahre sowie klinische Behandlungserfolge sprechen jedoch eindeutig für den gezielten Einsatz dieser Therapie.