

8 Zusammenfassung

Die Analyse der in der Literatur vorgeschlagenen Modellvorstellungen für die Wechselwirkung von Ultraschall mit biologischem Weichgewebe zeigt, dass es analytische Lösungen nur für schwach fokussierende Wandler bzw. einen eng begrenzten Bereich in Fokussnähe sowie einfache Gewebemodelle gibt. Schallfelder stark fokussierender Array-Wandler sind nur numerisch und bei genauer Kenntnis ihres Aufbaus und der Fokussierungsalgorithmen zu beschreiben. In Hinblick auf die angestrebte Messung akustischer Parameter in vivo mit verschiedenen B-Bild-Systemen und variabler Einstellung von Fokussierung und TGC ist eine formale Beschreibung der Signalübertragungskette am geeignetsten. Diese Form der Darstellung des Signalweges ist möglich, wenn das Untersuchungsmedium den derzeit gültigen Annahmen an biologisches Weichgewebe mit isotropen akustischen Parametern und räumlich zufälliger Verteilung von Streuern geringer Streustärke genügt und nur kleine Änderungen von Dämpfung und Rückstreuung untersucht werden sollen.

Die Gleichung zum Signalverlauf umfasst neben den Gewebeparametern das Sende- und das Empfangsschallfeld sowie die TGC. Es wird ein Verfahren angegeben, dass bei wirksamen Korrekturen der Systemeigenschaften, die quantitative Bestimmung der Dämpfung und des relativen Rückstreuoeffizienten aus den Spektralwerten verschiedener Torpositionen innerhalb einer ROI erlaubt. Die Berechnung der Rückstreuung als relativer Wert hat den Vorteil, dass nicht oder nur schwer zu bestimmende Konstanten der Systemkorrekturen eliminiert werden können. Bei geeigneter Wahl der Referenz bleibt dabei die Geräteunabhängigkeit der Analyse erhalten. Die cepstrale Glättung verringert die durch die Beiträge mehrerer Streuer verursachte Modulation im Spektrum. Aus dem Analyseverfahren werden Abschätzungen für die statistischen Fehler der Parameterbestimmung abgeleitet. Die Darstellung der dämpfungskorrigierten Rückstreuenspektren führt zu frequenzselektiven Bildern.

Die Korrektur der TGC erfolgt vor der Signalanalyse aus einem entsprechend verfügbaren Signal anhand experimentell ermittelter Kalibrierdaten. Mit den angegebenen Verfahren kann die TGC vollständig kalibriert oder bei bekannter Verstärkung auf Konstanz geprüft werden. Durch die Kalibrierung der TGC steht der Dynamikbereich des Systems vollständig zur Verfügung. Die Korrektur des Schallfeldes beruht auf dem Vergleich des Schallfeldes im Untersuchungsmedium mit dem Schallfeld in einem Phantom mit bekannter Dämpfung. Zur Bestimmung der Dämpfung der verwendeten Phantome kommt ein modifiziertes Transmissionsverfahren zur Anwendung. Das dabei verwendete Hydrophon gestattet Dämpfungsmessungen bis zu 10 MHz an gewebeähnlichen Phantomen bis 6 cm Länge, sodass die Dämpfung direkt im Kalibrierphantom gemessen werden kann. Diese neu entwickelten Verfahren sind universell an jedem B-Bild-Gerät anwendbar. Die Schallfeldkorrektur setzt keinerlei Information über die Algorithmen zur elektronischen Fokussierung oder den Aufbau des Wandler-Arrays voraus.

Die Beispielmessungen an Phantomen demonstrieren das komplette Analyseverfahren. Die cepstrale Glättung verringert deutlich die Varianz der Rückstreuenspektren gegenüber der ungeglätteten Analyse.

Als Mindestgröße einer ROI zur Dämpfungsbestimmung ergibt sich bei Betrachtung der statistischen Fehler eine Länge von 1 cm in Ausbreitungsrichtung des Ultraschalls. Das Verfahren zur Schallfeldkorrektur gleicht die systembedingte Tiefenabhängigkeit der Rückstreusignale wirksam aus. Genaue Dämpfungsmessungen in vivo erfordern jedoch bei wandlernahen Fokuszonen eine zusätzliche Nachkorrektur auf der Basis von Gewebedaten. Die Ursache dieser Abweichungen ist in der nicht vollständigen Nachbildung der akustischen Eigenschaften des Gewebes durch die verwendeten Phantome zu sehen. Untersuchungen an einem speziellen Streuphantom verdeutlichen die Geräteunabhängigkeit der Parameteranalyse sowie die Vor- und Nachteile der Arbeit mit interner und externer Referenz zur Bestimmung des relativen Rückstreukoeffizienten am Beispiel von Vorlaufstrecken mit unterschiedlicher Dämpfung. Weiterhin werden an diesem Phantom die Möglichkeiten der frequenzselektiven bildlichen Darstellung dämpfungskorrigierter Rückstreuspektren untersucht. Sowohl die Darstellung einzelner Frequenzkomponenten als auch deren gezielte Kombination können einen Informationsgewinn gegenüber dem herkömmlichen B-Bild erbringen. In beiden Fällen verbessert sich die frequenzabhängige Darstellung durch die cepstrale Glättung.

Mit dem Analyseverfahren werden die Messungen einer klinischen Studie an gesunden und pathologisch veränderten Hoden ausgewertet. Die Parameterbestimmung umfasst die Dämpfung als Mittelwert über jeweils 6 Messungen pro Hoden und den relativen Rückstreukoeffizienten. Letzterer wird ebenfalls aus 6 Messungen pro Hoden bestimmt, wobei als Dämpfungskorrektur der Mittelwert der Dämpfung des betreffenden Organs in die Berechnung eingeht. Zur Untersuchung, ob sich anhand der Parameteränderungen die Befunde unterscheiden lassen, kommen zwei Klassifizierungsverfahren zur Anwendung. Die Klassifizierung erzielt bessere Resultate, wenn eine Messunsicherheit der Dämpfung bei der Berechnung des relativen Rückstreukoeffizienten berücksichtigt wird. Eine Erkennung der Tumoren gelingt nicht in jedem Fall sicher, da sich nichtneoplastische Erkrankungen z.T. unspezifisch bezüglich des Testes verhalten. Die Bedeutung frequenzabhängiger Bilder ist zum jetzigen Zeitpunkt schwer einzuschätzen. Zumindest lässt sich die im Test gefundene bessere Trennung von Normalgewebe und Tumoren bei niedrigeren Frequenzen im Bild als höherer Kontrastunterschied darstellen und markieren.

Abschließend lässt sich feststellen, dass mit dem erarbeiteten Verfahren eine geräteunabhängige Analyse von Dämpfung und Rückstreuung möglich ist. Die so gewonnene Information kann in der klinischen Diagnostik eine wertvolle Zusatzinformation darstellen, die histologische Untersuchung kann sie zurzeit nicht ersetzen. Die Korrekturen der Systemeigenschaften sowie die statistischen Schwankungen der Rückstreuspektren ermöglichen die Parameterbestimmung nur mit einer Genauigkeit, die zum Teil an der Grenze der pathologisch verursachten Parameteränderungen liegen.

Eine Verbesserung der Analyse ist durch eine Vervollkommnung der Korrekturverfahren und die Einbeziehung weiterer Parameter in die Klassifizierung zu erwarten. Die diagnostische Relevanz der momentan erzielten Ergebnisse kann nur bei Untersuchung größerer Patientengruppen bewertet werden. Dazu wäre die komplette Implementierung des Verfahrens in ein B-Bild-System zu wünschen.