

C. Schoelgens · Acuson GmbH, Erlangen

Native™ Tissue Harmonic Imaging

Zusammenfassung

Native™ Tissue Harmonic Imaging ist eine neue Methode der Ultraschall-Bilderstellung, die gezielt schwer zu schallende Patienten adressiert. Durch die Verwendung eines Gauss'schen Sendepulses ist es möglich, aus den reflektierten Echos die harmonische Komponente zu separieren, ohne Überlapung mit den fundamentalen Reflexionen. Die dadurch erzielte Bildqualität erhöht die diagnostische Sicherheit derart, daß oftmals weitere bildgebende Verfahren eingespart werden können.

Schlüsselwörter

Ultraschall · Native™ Tissue Harmonic Imaging · Schwer zu untersuchende Patienten · Gauss'sches Sendespektrum

In der diagnostischen Sonographie sind die Fortschritte hinsichtlich der Bildqualität, die in den letzten Jahren erreicht wurden, durchaus bemerkenswert. Bei genauerem Hinsehen stellt man jedoch fest, daß sich eine Verbesserung der Bildqualität v.a. bei jenen Patienten bemerkbar macht, bei denen ohnehin gute Untersuchungsbedingungen vorherrschen. Dies betrifft ca. 70 bis 80% der erwachsenen Bevölkerung. Die übrigen Patienten haben von diesen Fortschritten leider entsprechend wenig profitieren können. Die Untersuchung ist weiterhin schwierig. Die wichtigsten Ursachen erschwerter Untersuchungsbedingungen sind bekanntermaßen meistens konstitutioneller Natur (Übergewicht, Zusammensetzung der Bauchwand, höheres Alter, kleine Zwischenrippenräume). Auch frisch operierte Patienten sind aufgrund ihrer Immobilität schwer zu untersuchen. Zu unterscheiden ist grundsätzlich zwischen Schallhindernissen anatomischer Natur (interponierte Darmschlingen etc.) und erschwerten Untersuchungsbedingungen, die durch die Zusammensetzung der Bauchwand bedingt sind. Hier tritt je nach Zusammensetzung ein erhebliches Maß an Schallstreuung auf, die die Bildqualität verschlechtern kann. In experimentellen Studien konnte nachgewiesen werden, daß dies sowohl von den Anteilen an Fettgewebe als auch an Muskulatur abhängt [1]. Die Erfahrung lehrt allerdings, daß anhand der Konstitution eines Patienten die Qualität der Untersuchung nicht immer vorherzusagen ist. Oft ist auch bei adipösen Patienten die Qualität erstaunlich gut, während bei schlanken, durchtrainierten Patienten der Aufbau der Bauchwand offenkundige Probleme bereitet.

Der Untersucher wird bei schwierigen Untersuchungsbedingungen den Problemen auf vielfältige Weise begegnen, z.B. durch Einsatz anderer Schallköpfe mit niedriger Frequenz, durch Veränderung der Sendeleistung, kontrastreichere Geräteeinstellung, Lagerungsmanöver und Wahl günstigerer Schallfenster. In jedem Fall ist der Zeitaufwand wesentlich höher, und nicht selten werden trotz allem weiterführende Untersuchungen mit anderen bildgebenden Verfahren erforderlich. Im Gegensatz zu vielen bisherigen Neuerungen ist „Native™ Tissue Harmonic Imaging“ ein Verfahren, welches sich überwiegend bei schwer zu untersuchenden Patienten vorteilhaft auswirkt. Es beruht vor allem auf der Tatsache, daß neben Reflexion, Streuung und Absorption von Schallwellen im Gewebe abhängig von der Tiefe auch Resonanzeffekte auftreten. Im Zusammenhang mit solchen Resonanzeffekten können „harmonische Schwingungen“ detektiert werden. Hierbei handelt es sich im akustischen Sinne um Obertöne. Dies sind vielfache Frequenzen einer Grundfrequenz. Ein Beispiel ist in Abb. 1 dargestellt.

Die Kombination aus Grund- und harmonischer Frequenz gibt den Musikinstrumenten ihren charakteristischen Klang und erlaubt es, sie von anderen Instrumenten zu unterscheiden, die den gleichen Ton, z.B. „C“, spielen.

Harmonische Schwingungen treten auch im Ultraschall auf, dort werden sie jedoch durch Gewebe oder Ultraschall-Signalverstärker (auch Ul-

C. Schoelgens, Acuson GmbH
Michael-Vogel-Straße 1c, D-91052 Erlangen

C. Schoelgens

Native™ Tissue Harmonic Imaging

Summary

Native™ Tissue Harmonic Imaging is a new way of ultrasound image processing that addresses the difficult-to-image patient. By using a Gaussian shaped transmit pulse it is possible to separate from the returning echo the harmonic component without overlapping with fundamental reflections. The improved image quality leads to higher diagnostic confidence so that the use of further imaging modalities is unnecessary.

Key words

Ultrasound · Native™ Tissue Harmonic Imaging · Difficult-to-image patient · Gaussian shaped transmit pulse

traschallkontrastmittel genannt) hervorgerufen. Beispielsweise sendet ein Schallkopf ein Frequenzband mit einer charakteristischen Mittenfrequenz von 2 MHz. Die zurückgesendete Energie verteilt sich auf zwei Frequenzbänder oder Spektren. Das erste ist das gesendete Spektrum mit einer Mittenfrequenz von 2 MHz, das zweite Spektrum ist die harmonische Schwingung mit einer Mittenfrequenz von 4 MHz. Das Grundfrequenzband besteht aus Echos, die von Gewebeübergängen und Inhomogenitäten hervorgerufen werden. Das Spektrum der harmonischen Schwingungen wird vom Gewebe als Ergebnis der Laufzeiten des (gesendeten) Grundfrequenzbandes generiert.

Wie oben dargestellt, können harmonische Schwingungen durch Gewebe und durch Ultraschall-Signalverstärker hervorgerufen werden. Zur Begriffsklärung muß nun zwischen der reinen B-Bild-Methode Native™ Tissue Harmonic Imaging (NTHI) und der Darstellung von Ultraschall-Signalverstärkern, die üblicherweise zur Anhebung der Doppler-Signale genutzt werden, unterschieden werden. Durch Ultraschall-Signalverstärker hervorgerufene harmonische Schwingungen stammen von Reflexionen des injizierten Ultraschall-Signalverstärkers und nicht von Reflexionen des Gewebes. Bis dato basieren alle Ultraschall-Signalverstärker auf dem Prinzip von Mikrobläschen. Werden diese in das Kreislaufsystem eingebracht, führt das zu starken Impedanz-

differenzen (Totalreflexion an den Luftbläschen), die in einer hohen, selektiven Signalverstärkung resultieren. Diese selektiven Intensitätserhöhungen des reflektierten Signals werden in erster Linie zur Verstärkung der generell schwachen Doppler-Signale genutzt.

Harmonische Schwingungen von Gewebe

Harmonische Schwingungen von Gewebe werden in der Transmitphase des „Puls-Echo“-Zyklus erzeugt, also während sich das gesendete Schallsignal durch das Gewebe ausbreitet. Ein Sendepuls besteht aus einer kurzen Folge von Oszillationen, ähnlich einer gedämpften Sinus-Welle. Er hat positive (Wellenberge) und negative (Wellentäler) Anteile. Die Wellenberge breiten sich immer schneller aus als die Wellentäler. Dies rührt daher, daß komprimiertes Gewebe eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit aufweist als lockeres. Aufgrund der schnelleren Ausbreitung der Wellenberge gegenüber den Wellentälern ergibt sich ein geringer Anteil an harmonischen Schwingungen. Obwohl der Anteil an harmonischen Schwingungen, die vom Gewebe hervorgerufen werden, sehr gering ist, entstehen und akkumulieren diese während der Ausbreitung des Schallimpulses durch das Gewebe.

Das Entstehen von harmonischen Schwingungen im Gewebe ist in Abb. 3 dargestellt. Man muß beachten, daß auf der Hautoberfläche die harmonischen

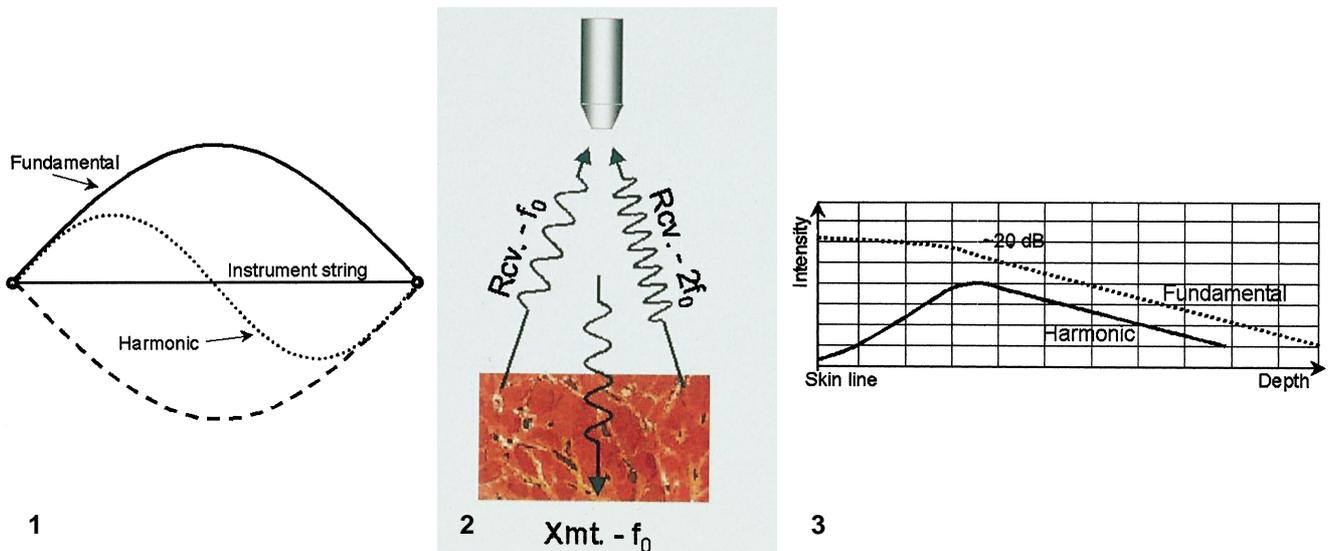


Abb. 1–3 ▲

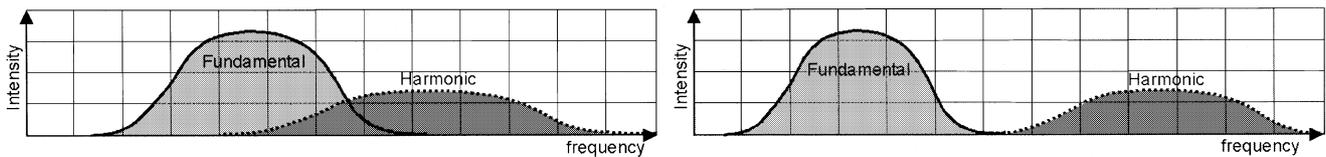


Abb. 4, 5 ▲

Schwingungen des Gewebes annähernd Null sind – sie werden mit zunehmender Eindringtiefe stärker, bis schließlich die Dämpfung durch das Gewebe die Entstehung begrenzt und einen Rückgang verursacht. Dies ist ein deutlicher Unterschied zur Intensität der Grundfrequenzen, die annähernd linear mit der Tiefe gedämpft werden. Allerdings ist die Intensität der von Gewebe hervorgerufenen harmonischen Schwingungen immer wesentlich geringer als die der Grundfrequenz (die Intensität der harmonischen Frequenz steht in quadratischer Beziehung zur Intensität der Grundfrequenz [2]). Wie Abb. 3 zu entnehmen ist, entstehen harmonische Schwingungen des Gewebes in erster Linie innerhalb des Körpers.

Rauschen und Störungen bei schwer zu untersuchenden Patienten

Die Hauptquelle für Bildrauschen und andere Störsignale ist die Zusammensetzung der Körperoberfläche. Insbesondere sind die Fettmenge, die Hautdicke und der Flüssigkeitsgehalt Ursachen für Ablenkungen und Streuungen des Ultraschallstrahls. Außerdem tragen auch die Breite der Schallkeule und Artefakte durch Reflexionen zu Bildstörungen bei. Diese abgelenkte und gestreute Energie ist wesentlich geringer als die gesendete Energie und erzeugt daher nur minimal harmonische Schwingungen. Deshalb enthält ein durch harmonische Schwingungen des Gewebes erzeugtes Bild nur in geringem Umfang Rauschen und Störungen aus dem Bereich der Hautschicht. In gewisser Weise verhält es sich, als wäre der Schallkopf jenseits der Hautschicht platziert und würde so die Hauptursachen für Rauschen und Störungen umgehen.

Bilderzeugung mit Native™ Tissue Harmonic Imaging (NTHI)

Ganz allgemein kann man feststellen, daß Harmonic Imaging des Gewebes er-

zielt wird, indem die vom Gewebe verursachten harmonischen Signalanteile genutzt und die von der gesendeten Schallenergie erzeugten Echosignale der Grundfrequenz ausgefiltert werden.

Abbildung 4 zeigt die Bildgebung durch die Grundfrequenz.

Ein Schallkopf sendet einen Schallimpuls, der aus einem breiten Frequenzband besteht. Beim Empfang eliminiert ein Eingangsfiler alle Frequenzen außerhalb des gesendeten Frequenzbandes. Das Bild wird durch das ausgefilterte Band der Grundfrequenz erzeugt. Wenn beispielsweise das gesendete Frequenzband eine Mittenfrequenz von 4 MHz aufweist, läßt der Filter nur dieses Band passieren und unterdrückt alles außerhalb dieses Bandes. Es ist zu beachten, daß sich in diesem Beispiel das Grundfrequenzband und das Frequenzband der harmonischen Schwingung überlappen. Dies bedeutet, daß ein Teil der Energie des Grundfrequenzbandes im Bereich der harmonischen Schwingung übertragen wird. Dies ist unerwünscht, da es zu einer schlechteren Darstellung des Gewebes bei harmonischer Bildgebung führt. Der Grund für dieses schlechte Ergebnis ist, daß die Frequenzen des Grundbandes aufgrund ihrer höheren Energie die schwächeren Signale der harmonischen Frequenz des Gewebes verdecken.

Um eine gute Bildqualität zu erzielen, ist es wichtig, daß keine Überlappung von Grund- mit harmonischer Frequenz vorliegt. Wenn das Band der Grundfrequenz und das der harmonischen Frequenz nicht überlappen, kann ein Empfangsfiler genutzt werden, um ausschließlich Signale aus dem Band der harmonischen Frequenz herauszufiltern und daraus das Bild zu erzeugen.

Im Idealfall ist die *gesendete* Energie im Bereich des Frequenzbandes der *harmonischen Schwingung* Null, wie es in der Grafik (Abb. 5) dargestellt ist. Dies ist die erste Bedingung, die gewährleistet, daß das Signal der harmonischen Frequenz nicht von einem Signalanteil des

Grundfrequenzbandes überlagert wird. Außerdem muß der Empfangsfiler dem Band der harmonischen Frequenz angepaßt sein, und er muß Signale im Grundfrequenzband zurückweisen. Das ist die zweite Bedingung dafür, daß das Grundfrequenzband völlig ausgeblendet wird und die Signale der harmonischen Frequenz nicht überlagern kann.

Die Technologie, die Native™ Tissue Harmonic Imaging ermöglicht, basiert auf 2 Hauptanforderungen:

- Steuerung des übertragenen Schallimpulses in der Art, daß die Bandbreite genau gesteuert ist und das resultierende Frequenzspektrum einer Gauß'schen Verteilung entspricht. Die Bandbreite muß so gewählt sein, daß keine Sendeenergie im Frequenzband der harmonischen Schwingung enthalten ist.
- Darüber hinaus ist ein entsprechender Empfangsfiler erforderlich, der das Grundfrequenzband sperrt und nur das der harmonischen Frequenz passieren läßt.

Die kontrollierte Gauß'sche Verteilung des Spektrums bietet folgende bekannte Vorteile:

- Ein Frequenzspektrum, das einer Gauß'schen Verteilung folgt, ändert seine Kurvenform nicht tiefenabhängig, die Auflösung bleibt konstant für alle Eindringtiefen.
- Ein kontrolliertes Spektrum ermöglicht die Trennung zwischen dem Grundfrequenzband und dem der harmonischen Frequenz, so daß keine Energie der Grundfrequenz im Frequenzband der harmonischen Frequenz enthalten ist.
- Ein Spektrum der Grundfrequenz mit einer Gauß'schen Verteilung ergibt ein Spektrum der harmonischen Frequenz mit einer Gauß'schen Verteilung.

Die ART-Technologie – 1993 von Acuson eingeführt – nutzte als erste das Gauß'sche Sendespektrum. Die direkten Vorteile dieser Neuheit waren eine Reduktion der Bandbreitenabweichung im Gewebe und damit eine verbesserte

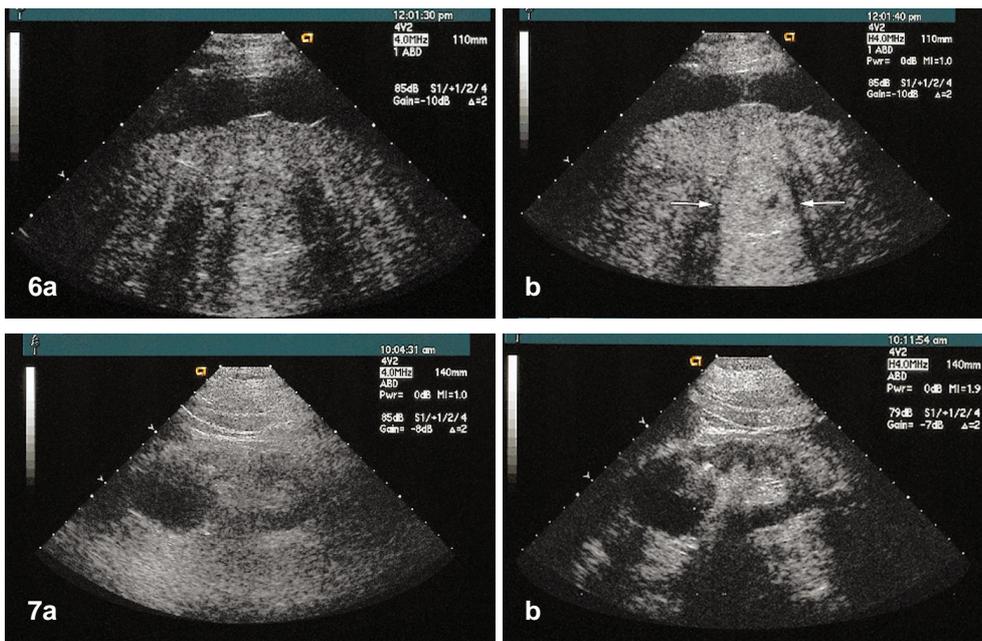


Abb. 6 ▲ a Schwierige Untersuchungsbedingungen bei konventioneller B-Bildgebung. Leber und Ascites sind schlecht abgebildet (Foto: Acuson GmbH, Erlangen). b Gleicher Patient mit NTHI untersucht. Der komplexe Tumor ist jetzt abgrenzbar und wurde als Hepatom diagnostiziert (Foto: Acuson GmbH, Erlangen)

Abb. 7 ▲ a Schwierige Untersuchungsbedingungen bei konventioneller B-Bildgebung. Die Niere ist nicht gut abgrenzbar. Möglicher Bereich mit schwächerer Signalintensität (Foto: Acuson GmbH, Erlangen). b Gleicher Patient mit NTHI untersucht. Tumor, Nierengrenze und Parenchym sind jetzt abgrenzbar (Foto: Acuson GmbH, Erlangen)

Auflösung und Gleichförmigkeit des Bildes. Darüber hinaus wurde die Leistungsfähigkeit der Mehrfrequenz-Bildgebung MultiHertz[®] erhöht, weil die Vorteile des Gauß'schen Spektrums bei allen Schallkopf-Frequenzen zum Tragen kamen. Die Möglichkeit, die Form des Sendespektrums zu steuern, öffnete den Weg für die spätere Entwicklung von NTHI.

Bildgebung mit NTHI

Mit NTHI erzeugte Bilder weisen folgende typische Charakteristika auf, weil sie aus Signalen gewonnen werden, die von Gewebe stammen:

- Reduktion von Artefakten, die aus dem Bereich der Haut stammen;
- Unterdrückung von Störungen aus dem Randbereich der Schallkeule;
- Erhöhung von Kontrast und Auflösung durch die Reduktion von Rauschen;

- Reduktion von Reflexionen;
- verringerte Breite der Schallkeule durch Unterdrückung von Echos außerhalb des Schallstrahls.

NTHI leistet dadurch einen wichtigen Beitrag zur Lösung von Problemen bei technisch schwierigen Untersuchungen (Abb. 6, 7).

- Die Qualitätsunterschiede zwischen Untersuchungen verschiedener Patienten werden reduziert, da die Ursachen für Rauschen und Störungen, die typisch für schwierig zu schallende Patienten sind, weitestgehend eliminiert werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, daß die erzielte Qualität der Bilder weniger vom Bediener abhängig ist als bisher.
- NTHI erfordert keine besondere Schulung. Mit den gleichen Untersuchungsmethoden, den gleichen Schallköpfen, den gleichen Grauwertdarstellungen und nur geringen Änderungen der Systemeinstellungen

werden aus technisch unbefriedigenden hochwertige, aussagekräftige Bilder.

- Die Gewißheit, mit Ultraschall eine Diagnose zu erzielen, ist höher. Das bedeutet, daß das kostengünstigste Verfahren zur Bildgebung noch kostengünstiger wird.
- Unkooperative und schwerstkranke Patienten lassen sich einfacher untersuchen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß Native[™] Tissue Harmonic Imaging eine neue Technologie darstellt, die einen Beitrag zur Lösung bestehender Probleme in der Ultraschalldiagnostik leistet. Sie paßt in die aktuelle wirtschaftliche Situation, da diese Technologie eine deutliche Verbesserung der Qualität der Patientenversorgung mit sich bringt, wodurch Kosten zusätzlicher Untersuchungen gespart werden können.

Literatur

1. Haberkorn U, Rudat V, Leier G, Zuna I, Lorenz A, van Kaick G (1991) **Der Einfluß von Bauchwandzusammensetzung und Bauchwanddicke auf das Ultraschall-B-Bild.** Röfo 155: 327–331
2. Christopher T (1997) **Finite amplitude distortion-based inhomogeneous pulse echo ultrasonic imaging.** IEEE Trans Ultrason Ferroelec Freq Contr 44