

Kontrastmittelspezifische Ultraschall-Computertomographie

Christian Hansen, Forschungsgruppe Hochfrequenztechnik, Ruhr-Universität Bochum

Die Sonographie ist ein in der medizinischen Diagnostik etabliertes Abbildungsverfahren, das flexibel und kostengünstig zur Darstellung der Morphologie und der Durchblutung biologischer Organe eingesetzt wird. Zur Beurteilung der Gewebedurchblutung können unter anderem medizinisch zugelassene Ultraschallkontrastmittel verwendet werden. Hierbei handelt es sich um mikroskopisch kleine, hüllenstabilisierte Gasbläschen, die sich nach intravenöser Injektion im gesamten Blutkreislauf verteilen und aufgrund ihres besonderen akustischen Rückstreuerverhaltens selektiv mit Ultraschall detektierbar sind. Neben einer rein qualitativen Abbildung der Kontrastmittelverteilung kann die Dynamik der Gewebepfusion (semi-)quantitativ in Parameterbildern abgebildet werden, wobei die Kontrastmittelkonzentration durch ultraschallinduzierte Zerstörung der Mikrobäschen beeinflussbar ist.

Trotz vieler Vorteile gegenüber anderen Abbildungsmodalitäten weist die Sonographie eine Reihe von systeminhärenten Nachteilen auf: Die Bildqualität wird sowohl bei der nativen Abbildung (ohne Kontrastmittel) als auch bei der kontrastmittelspezifischen Abbildung von Speckle, Bildartefakten und einer anisotropen Auflösung beeinträchtigt. Darüber hinaus sind die Abbildung und die Befundung bei manueller Führung des Schallwandlers und fehlender Standardisierung stark untersucherabhängig.

Um die genannten Probleme zu beheben, wurden in dieser Arbeit Verfahren entwickelt, die eine untersucherunabhängige Bildrekonstruktion durch den Einsatz einer automatisierten koplanar-multidirektionalen Aufnahmetechnik erlauben. Im Rahmen einer organspezifisch auf die Abbildung der weiblichen Brust (Mamma) ausgelegten Ultraschall-Computertomographie (USCT) werden Echosignale aus verschiedenen Aspektwinkeln einer Schnittebene aufgenommen und miteinander kombiniert. Hierzu wurde ein für den klinischen Einsatz geeigneter Untersuchungsaufbau (Mammascanner) realisiert, bei dem der Schallwandler eines konventionellen Ultraschallgerätes automatisiert um die weibliche Brust bewegt wird und bei Wasserankopplung Ultraschalldaten im Puls-Echo-Betrieb aufzeichnet. Die aufgenommenen Signale aus einer Ebene werden anschließend in zweifacher Weise verarbeitet: Zum einen werden sie einander inkohärent überlagert (Full Angle Spatial Compounding, FASC), um eine isotrope Auflösung zu erzielen sowie Speckle und Artefakte zu reduzieren. Ein wesentlicher Fokus liegt hierbei auf der funktionellen Beurteilung des Brustgewebes mit Hilfe von Ultraschallkontrastmitteln. Zum anderen werden die Laufzeiten von Echosignalen ausgewertet, die bei Reflexion der ausgesandten Schallpulse an einem sich hinter der Brust befindlichen Reflektor entstehen. Aus diesen Laufzeiten wird die Schallgeschwindigkeitsverteilung (SoS: Speed of Sound) mittels computertomographischer Rekonstruktionsverfahren wie der gefilterten Rückprojektion und der Algebraischen Rekonstruktionstechnik (ART) quantitativ rekonstruiert. Die entstehenden Parameterbilder können einerseits diagnostisch genutzt werden, um pathologisches Gewebe über einen Schallgeschwindigkeitsunterschied vom gesunden Gewebe zu unterscheiden. Andererseits können sie verwendet werden, um beim FASC Laufzeit- und Brechungseffekte zu berücksichtigen und Bildfehler zu vermeiden.

Nachdem die entwickelten Verfahren zunächst in-vitro getestet wurden, wurde der Mammascanner klinisch eingesetzt, um in-vivo Untersuchungen an Probandinnen und Patientinnen durchzuführen. Hierbei führte die native FASC-Abbildung zu einer qualitativ hochwertigen Abbildung der Objektmorphologie in nahezu isotroper Auflösung, bei der Speckle und Artefakte reduziert sind. FASC-spezifische Artefakte konnten durch den korrigierenden Einsatz der SoS-Rekonstruktion vermieden werden. Zusätzlich lieferten die Parameterbilder der Schallgeschwindigkeitsverteilung auch diagnostische Informationen. So gelang es in-vivo, die Darstellung von Brustläsionen nicht nur durch das FASC zu verbessern, sondern Karzinome auch über ihre Schallgeschwindigkeit zu detektieren. Die kontrastmittelspezifische FASC-Abbildung wurde darüber hinaus erfolgreich an mehreren Testobjekten in-vitro erprobt. Hier konnten aufgrund einer starken Rauschminderung sowohl die qualitative Darstellung von Gefäßstrukturen als auch die semi-quantitative Perfusionsabbildung verbessert werden. Kontrastmittelspezifische Artefakte wurden in beiden Fällen deutlich reduziert.