

Nichtlineare tomographische Rekonstruktion der elastischen Eigenschaften isotroper Festkörpern aus Ultraschall Messungen

Leili Salehi Lehrstuhl für Medizintechnik

Osteoporose und damit einhergehende Frakturen stellen ein Problem wachsenden Ausmaßes in Bevölkerungsgruppen im höheren Lebensalters dar. Da Knochenbrüche das Resultat von Osteoporose sind, wird immer mehr Aufmerksamkeit auf die Identifikation von Patienten mit einem hohen Risiko für Frakturen gelenkt, anstatt sich auf die Identifikation von Menschen mit Osteoporose über die Knochenmineraldichte zu konzentrieren. In den letzten Jahrzehnten wurden viele Ansätze eingeführt um Osteoporose zu diagnostizieren. Die beliebtesten Methoden stellen dabei die Dual X-ray Absorbimetrie, die Magnetresonanztomographie und die quantitative Computed Tomography dar. Für die einzelnen Modalitäten besteht immer ein Kompromiss zwischen Bildqualität, Kosten und insbesondere dem Risiko der Strahlungsbelastung für den Patienten. Ultraschall ist nicht kostenintensiv und führt zu keiner Strahlenbelastung. Seit kurzem wird auch quantitativer Ultraschall eingesetzt, um in-vivo die Qualität von Spongiosa und Kortikalis zu untersuchen. Allerdings gibt es bisher kein etabliertes Ultraschallsystem für Aufnahmen von Festkörpern wie Knochen.

Das Ziel dieser Studie ist es, einen neuen theoretischen Ansatz für Ultraschalltomographie in Festkörpern einzuführen, der in Zukunft für die tomographische Knochenbildgebung eingesetzt werden kann. Wir führen eine adjungierten-basierte Methode für die nicht-lineare Rekonstruktion der mechanischen Eigenschaften von Festkörpergewebe mittels Ultraschall ein. Die Wellenausbreitung wird in dieser Arbeit durch eine Approximation höherer Ordnung der elastodynamischen Wellengleichung modelliert. Zunächst wird dieser Ansatz genutzt um die Diskontinuitäten in biologischem Weichteilgewebe zu berechnen, indem eine Lösung der nicht-linearen akustischen Wellengleichung in der Gegenwart von Mehrfachreflexionen gefunden wird. Dafür wird eine linearisierte Version der nicht-linearen Wellengleichung benutzt um iterativ eine Lösung mit der Kaczmarz Methode anzunähern. Diese Methode wird weiterentwickelt um neben der Struktur auch die elastischen Eigenschaften von Spongiosa und Kortikalis an Extremitäten am Fersenbein oder an Fingerknochen zu rekonstruieren. Damit kann die lokale Dicke der Kortikalis abgeschätzt werden, welche ein wichtiges Maß für das Risiko einer Fraktur darstellt. Die hier benutzte Wellengleichung ist die Navier-Stokes-Gleichung, die einige nichtlineare Effekte der Wellenausbreitung in Festkörpern modelliert. Dazu zählen die Modenwandlung und die Mehrfachstrahlung. Die Rekonstruktion basiert auf den kompakten Wellengleichungen ohne zwischen Longitudinalwellen und Scherwellen zu unterscheiden. Dieses Konzept wird auf verschiedene Simulationsumgebungen angewendet, die die elastischen Eigenschaften von biologischem Gewebe berücksichtigen können. Eine in-vivo Validation der Ergebnisse war jedoch außerhalb der Möglichkeiten dieses Projektes.