



Doctoral Thesis

Analysis and modelling of respiratory liver motion using 4DMRI

Author(s):

Siebenthal, Martin von

Publication Date:

2008

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005552073> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 17613

Analysis and Modelling of Respiratory Liver Motion using 4DMRI

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

MARTIN VON SIEBENTHAL

MSc in Electrical Engineering and
Information Technology, ETH Zurich

born 29th June 1978

citizen of
Saanen BE

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gábor Székely, examiner
Prof. Dr. Steve Jiang, co-examiner
Prof. Dr. Antony Lomax, co-examiner
Prof. Dr. Philippe Cattin, co-examiner

2008

Abstract

This thesis describes methods for imaging, analysis, and modelling of respiratory organ motion, which is a key problem in numerous applications. The specific aim of this work was to improve planning and targeting in radiation therapy with external beams.

To study respiratory motion in detail, a method for time resolved volumetric magnetic resonance imaging (4DMRI) was developed. This method can capture irregular breathing and thus allows for studying the variability in respiratory motion. Although the developed method is applicable to any site affected by respiratory motion, it is demonstrated for the liver as an example organ. 4DMRI sequences of the liver were obtained from 13 volunteers and dense deformation fields describing the respiratory motion were estimated using intensity-based non-rigid registration. The analysis of this data provided new insights into the intrafraction motion of the liver during free breathing. In particular, large intrafraction drifts were found in most subjects and ranged up to more than one centimetre over 20 minutes. Simulations of different gating scenarios demonstrated the large targeting errors that can result from the observed drifts in gated treatment with external respiratory signals.

In order to improve targeting, we show how to capture the observed motion in a statistical model and how to use this model as prior knowledge together with possibly few patient-specific measurements. This includes the introduction of a scheme for intersubject correspondence that is particularly suited for motion modelling. Additionally, we demonstrate the systematic determination of optimal predictors.

The obtained motion data was further used to evaluate the dosimetric impact of respiratory motion in radiation therapy with scanned proton beams. We quantified the influence of both full respiratory motion and the residual motion after applying respiratory gating. The results demonstrate the expected interference between scanned delivery and organ motion and show the necessity of realistic motion data when evaluating dose delivery patterns.

In summary, the developed methods for imaging, motion analysis, and modelling, as well as the gained knowledge about liver motion and its dosimetric impact provide a basis for improved treatment planning and targeting.

Zusammenfassung

Diese Dissertation beschreibt Methoden zur Aufnahme, Analyse und Modellierung der Atembewegung von Organen. Organbewegungen erschweren viele medizinische Behandlungen. Das konkrete Ziel dieser Arbeit war eine Verbesserung der Planungs- und Bestrahlungsgenauigkeit in der Strahlentherapie.

Für die detaillierte Untersuchung der Atembewegung wurde eine Methode zur zeitlich aufgelösten Magnetresonanzbildgebung (4DMRI) entwickelt. Diese Methode erlaubt es, unregelmässige Atembewegungen zu erfassen und deren Variabilität zu untersuchen. Obwohl die entwickelte Methode beispielhaft anhand der Leber demonstriert wird, ist sie auf alle Organe anwendbar, die sich mit der Atmung bewegen.

Von dreizehn Probanden wurden 4DMRI-Sequenzen der Leber aufgenommen. Anschliessend wurden mittels nicht-rigider Registrierung die Verformungen zwischen den einzelnen Leberaufnahmen bestimmt. Diese Analyse führte zu neuen Erkenntnissen über die Organbewegung bei freier Atmung. Insbesondere wurde bei den meisten Probanden ein starkes Driften der Leber festgestellt, das in einigen Teilen zu Verformungen von mehr als 1 cm innerhalb von 20 Minuten führte. Simulationen verschiedener Bestrahlungsszenarien mit Gating, einer Methode zur Synchronisation von Bestrahlung und Atmung, zeigten, dass bei der Lokalisierung von Tumoren mittels externer Messungen ein Driften der Leber zu enormen Ungenauigkeiten führen kann.

Zur Verbesserung der Bestrahlungsgenauigkeit wurden die gemessenen Organbewegungen in einem statistischen Modell erfasst. Mit diesem Bewegungsmodell als Vorwissen kann die Verformung der gesamten Leber bestimmt werden, selbst wenn nur Teile davon lokalisierbar sind. Dazu wurde unter anderem ein Schema zur Bestimmung von Korrespondenzen zwischen den Lebern verschiedener Probanden entwickelt und die systematische Wahl optimaler Messpunkte diskutiert.

Die Bewegungsdaten der Leber wurden zudem verwendet, um den Einfluss der Atmung bei Protonenbestrahlung mit der sogenannten Spot-Scanning-Technik zu eruieren. Die Resultate zeigen die erwarteten Interferenzeffekte zwischen Atmung und dynamischer Bestrahlung und unterstreichen die Notwendigkeit, Bestrahlungssequenzen mit realistischen Atembewegungen zu simulieren.

Sowohl die entwickelten Methoden zur Bildgebung und Bewegungsanalyse als auch das gewonnene Wissen über die Leberbewegung und die auftretenden Interferenzeffekte sind wichtige Schritte zur Verbesserung der Strahlentherapie.