



Doctoral Thesis

Advances in whole-heart MRI tagging for the assessment of myocardial motion

Author(s):

Rutz, Andrea K.

Publication Date:

2008

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005698159> →

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. 17902

ADVANCES IN WHOLE-HEART MRI TAGGING
FOR THE ASSESSMENT OF MYOCARDIAL MOTION

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by

Andrea K. Rutz

Dipl. El.-Ing. ETH

born March 14th, 1977

citizen of Teufen (AR), Switzerland

accepted on the recommendations of

Prof. Dr. Peter Bösiger, examiner

Prof. Dr. Matthias Stuber, co-examiner

PD. Dr. Sebastian Kozerke, co-examiner

Zurich 2008

Zusammenfassung

Die Quantifizierung kontraktile Fehlfunktion des Herzens ist von grosser klinischer Bedeutung in Bezug auf Diagnose und verbesserte Behandlung verschiedener kardiovaskulärer Erkrankungen. Mit der Bestimmung regionaler Herzwandbewegung können wertvolle Erkenntnisse über die Herzmechanik in Gesunden und in Patienten gewonnen werden. Änderungen kardialer Bewegungsmuster sind in vielen Fällen frühe und sensitive Merkmale einer Herzerkrankung. Die Magnetresonanztomographie (MRI) bietet die Möglichkeit, Herzanatomie und -funktion nicht-invasiv zu messen, ohne dabei den Patienten ionisierender Strahlung auszusetzen. MRI-Tagging ist eine Methode, um regionale Herzbewegung genau und schnell zu quantifizieren. Mittels Tagging wird die Gewebemagnetisierung vor der Bildaufnahme moduliert. Die daraus resultierenden Linien- oder Gittermuster bewegen sich mit dem dazugehörigen Gewebe mit, wodurch eine Quantifizierung der Herzbewegung ermöglicht wird. Studien haben das herausragende Potential dieser Technik in der vorklinischen Herzforschung unter Beweis gestellt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung und Anwendung beschleunigter MRI Tagging-Aufnahme- und Auswertetechniken zur Charakterisierung regionaler Herzwandbewegung im gesunden und erkrankten Zustand.

Für die Aufnahme und Auswertung von Tagging-Daten steht eine Vielzahl unterschiedlicher Techniken bereit, wobei viele Verfahren sehr ähnliche Ansätze verfolgen. Vorteile der verschiedenen Methoden und deren optimale Anwendung in der Praxis wurden in dieser Arbeit evaluiert.

Die komplexe dreidimensionale Bewegung der Herzwand erfordert eine vollständige Abdeckung des Herzens in der Bildgebung sowie die Messung dreidimensionaler Bewegungstrajektorien. Diesbezüglich wurde ein neues Tagging-Aufnahmeverfahren entwickelt, mit dessen Hilfe die Aufnahme dreidimensionaler, bewegungskodierter Daten in schneller und effizienter Weise möglich ist. Die dazu benutzte Tagging-Technik kompensiert das Verblässen der Tags über die Zeit durch die Aufnahme zweier komplementärer Datensätze, welche voneinander subtrahiert werden (Complementary Spatial Modulation of

Magnetization, CSPAMM). Für die Akquisition der dreidimensionalen Tagging-Daten wurden drei Datensätze aufgenommen, welche je in eine Raumrichtung bewegungskodiert wurden. Die Aufnahmezeit konnte deutlich verringert werden, indem die Tagging-Modulation selektiv implementiert wurde, was eine Verkleinerung des abgebildeten Volumens auf die Grösse des Herzens ermöglichte. Zusätzlich wurde eine schnelle, segmentierte Echo-Planar MRI-Sequenz mit mehreren RF-Anregungen pro Herzphase verwendet. Für die Datenauswertung dreidimensionaler Tagging-Daten wurde eine existierende Technik, die sich in früheren Studien als schnell und zuverlässig erwiesen hat, erweitert.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden neben dreidimensionalen Tagging-Techniken auch konventionelle, zweidimensionale Methoden weiterentwickelt und in gesunden Probanden und Patienten mit unterschiedlichen Herzkrankheiten angewendet. Neue Strategien wurden entwickelt, um die Herzbewegung mittels aussagekräftigen Parametern zu quantifizieren. Die in den Patientenstudien entwickelten Methoden erlauben auch, Schlüsse für individuell notwendige Therapien zu ziehen.

Die entwickelten Methoden erlaubten die Anwendung von drei- und zweidimensionalen Tagging-Techniken in grösseren Patientenstudien. Zweidimensionale Tagging-Verfahren wurden optimiert, um die Herzbewegung in Patienten mit Morbus Fabry zu messen. Morbus Fabry ist eine seltene, vererbare Stoffwechselkrankheit, welche eine Vielzahl von Organen betrifft und auch eine schwere Veränderung des Herzens bewirkt, welche mit dem Alter fortschreitet und zum Tode führen kann. Eine Schichtverfolgungstechnik kam zum Einsatz, um Gewebewegung durch die abgebildete Schicht zu eliminieren. Um den gesamten linken Ventrikel abzudecken, wurden mehrere Schichten in unterschiedlichen Orientierungen aufgenommen. Veränderungen in der Herzbewegung konnten nicht nur in Patienten mit makroskopischen Pathologien der Herzanatomie nachgewiesen werden, sondern auch in Patienten, welche nur frühe Anzeichen einer Herzkrankheit zeigten. Während sowohl die zirkumferentielle Kontraktion als auch die Verkürzung in Längsachsen-Richtung erst in Patienten mit hypertrophen Herzen verändert war, konnten für die apikale Rotation sowie die linksventrikuläre Torsion bereits im frühen Krankheitsstadium signifikante Veränderungen gemessen werden.

Die dreidimensionale Tagging-Technik wurde erstmals in einer grösseren Studie angewendet. In dieser Studie wurde die linksventrikuläre Kontraktion und Dissynchronie in Patienten mit Linksschenkelblock (Erregungsleitungsstörung) und in Patienten kurz nach erfolgtem Herzinfarkt gemessen. Eine Vielzahl von Herzbewegungsparametern wurde untersucht und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse evaluiert. Es konnten signifikante Unterschiede in der

Herzbewegung zwischen beiden Patientengruppen und gesunden Probanden festgestellt werden. Die Studie konnte ausserdem zeigen, dass eine schnelle und genaue Untersuchung der linksventrikulären Dissynchronie die Patientenselektion und individuelle Behandlung im Hinblick auf eine Herzschrittmacherimplantation im Rahmen der Herzresynchronisationstherapie möglicherweise verbessern kann. Als Ergebnis der Studie wurde eine neue Strategie erarbeitet, welche eine schnelle Identifizierung von Regionen mit dissynchroner Herzbewegung erlaubt. Diese Methode, zusammen mit MRI Vitalitätsmessungen, ist von grossem Interesse, um die Implantation einer linksventrikulären Elektrode zu planen. Dies ist ein wichtiger Faktor für eine optimale Herzschrittmacher-Therapie.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Entwicklung und Anwendung beschleunigter Tagging-Techniken die MRI-basierte Herzbewegungsmessung in die Nähe klinischer Anwendung bringen konnte. Messungen regionaler Herzbewegungsparameter sind kombinierbar mit weiteren Untersuchungen wie Perfusions- und Vitalitätsmessungen, mit deren Hilfe die Herzfunktion umfassend charakterisiert werden kann.

Summary

Quantification of mechanical dysfunction of the heart is of great importance for improving medical diagnosis and treatment in a range of cardiovascular diseases. The assessment of regional myocardial motion can give valuable insights into cardiac mechanics in healthy and diseased states. Alterations in cardiac deformation patterns can be early and sensitive indicators of cardiac disease. Magnetic resonance imaging (MRI) offers the possibility to non-invasively assess heart anatomy and function without exposing the patient to ionizing radiation. Myocardial tagging is a dedicated method for accurate and fast quantification of regional cardiac motion. With MRI tagging, tissue magnetization is modulated prior to image acquisition and the resulting line-, grid- or lattice-patterns stay with the underlying tissue, allowing tracking and quantifying of cardiac motion. Previous studies have demonstrated the outstanding potential of this technique in preclinical cardiac research.

The objective of the present thesis was the development and application of accelerated MRI tagging acquisition and post-processing techniques to characterize regional heart wall dynamics in healthy and diseased hearts.

Acquisition and post-processing of motion encoded data can be accomplished using a variety of different techniques. Most of them are closely related with each other and show high similarities. Advantages and optimal implementations of the different methods in a practical setting were evaluated and are discussed in this thesis.

The complex three-dimensional nature of cardiac motion requires complete coverage of the heart during data acquisition and the assessment of three-dimensional displacement trajectories. A novel tagging acquisition scheme was developed to allow acquiring three-dimensional, motion encoded data fast and efficiently. The applied tagging technique compensates tag fading over time by the acquisition of two complementary data sets which are subtracted of each other (Complementary Spatial Modulation of Magnetization, CSPAMM). For the acquisition of three-dimensional tagging data, three data sets were acquired which were each motion encoded in one spatial direction. Scan time could significantly be reduced by implementing the tagging modulation selectively, what allowed

reduction of the imaged volume to the dimensions of the heart. A fast, segmented echo-planar imaging MRI sequence with multiple RF-excitations per heart phase was employed for data read-out. For post-processing of three-dimensional tagging data, an existing technique that proved to be fast and reliable in previous studies was extended to enable analysis of volumetric data.

Two- and three-dimensional tagging techniques were developed in this thesis and both validated and applied in healthy volunteers and patients with various cardiac diseases. Novel calculation methods were worked out to express and quantify a possible dysfunction in heart wall motion. New strategies developed in patient studies allow drawing conclusions with regard to individual therapy planning.

The methods developed have permitted the application of three- and two-dimensional tagging techniques not only in healthy volunteers but also in larger patient cohorts. Two-dimensional tagging was utilized to measure cardiac motion in patients with Fabry disease. Fabry disease is a rare genetic metabolic disorder affecting most of the organs including the heart. The disease is progressive with age and often leads to death due to heart failure. A slice following technique was applied to eliminate through-plane motion effects, and multiple slices were acquired in different orientations to cover the entire left ventricle. Alterations of cardiac motion could not only be observed in patients with macroscopic cardiac involvement, but also in patients showing early signs of cardiac disease. While both circumferential contraction and longitudinal shortening were only altered in patients with hypertrophic hearts, significant alterations in apical rotation and left ventricular torsion could also be measured at an early stage of disease.

The three-dimensional tagging technique was applied in a large study to measure left ventricular contraction and dyssynchrony in patients with left bundle branch block (impairment of the cardiac electrical conduction system) and in patients after myocardial infarction. A variety of cardiac motion parameters was assessed and reproducibility of the obtained results was validated. Significant differences in cardiac motion between each group of patients and healthy volunteers could be measured. The study has demonstrated that fast and accurate assessment of left ventricular dyssynchrony has the potential to improve patient selection and individual treatment of these patients with regard to biventricular pacing as part of cardiac resynchronization therapy. As a result, a novel strategy was proposed allowing for fast detection of areas exhibiting dyssynchronous myocardial motion. This method can be used in combination with MRI viability measurements for planning of left ventricular lead placement, an important factor concerning optimal therapy implementation.

In conclusion, the development and application of accelerated tagging techniques has brought MRI based cardiac motion quantification within reach of clinical applicability. Assessment of cardiac deformation can be combined with further measurements such as perfusion and viability imaging to characterize cardiac function in a comprehensive manner.