

Quantifizierung der Darmperistaltik mittels deformierbarer Registrierung

Detektion von Bewegungsstörungen

Daniel Stein¹, Tobias Heye², Hans-Ulrich Kauczor², Hans-Peter Meinzer¹

¹Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik, DKFZ Heidelberg

²Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
Universitätsklinikum Heidelberg

D.Stein@dkfz.de

Kurzfassung. In diesem Beitrag werden zwei neuartige Methoden zur Detektion von Bewegungsstörungen des Darms vorgestellt und evaluiert. Dazu werden aus dynamischen 3D MRT Datensätzen jeweils ein geeigneter koronarer 2D+t Datensatz ausgewählt und über mehrere Zeitschritte registriert. Aus den entstehenden einzelnen Bewegungskarten wird in der ersten Methode ein neues Bild generiert, das für jeden Bildpunkt alle dazugehörigen Vektorbeträge addiert. Für die zweite Methode werden die Beträge nur aus den lateralen Vektorkomponenten der Verschiebungsvektoren berechnet und somit überwiegend die Atembewegung künstlich entfernt. In einer ersten Evaluation werden für beide Methoden 5 Probanden mit 5 Patienten mit nachgewiesener eingeschränkter Darmperistaltik verglichen. Es wurde festgestellt, dass für die erste Methode mit Atmung eine Klassifizierung zwischen Probanden und Patienten nur bedingt möglich ist. Für die zweite Methode konnte jedoch gezeigt werden, dass die mittlere Bewegung in den Bewegungskarten mit Krankheitsbild ungefähr 35% geringer ist und somit erstmals eine Klassifizierung zwischen normaler und eingeschränkter Darmperistaltik ermöglicht wird.

1 Einleitung

Einschränkung der Darmperistaltik durch Verwachsungen nach chirurgischen Eingriffen oder bei chronisch entzündlichen Darmerkrankungen stellen für die Medizin und speziell für die diagnostische Bildgebung ein schwer quantifizierbares Problem dar. Dynamische MRT Daten ermöglichen es, Bewegungen des Darms festzustellen und aufzuzeichnen [1]. Untersuchungen der Darmbeweglichkeit werden bisher vom behandelnden Arzt durch visuelle Analyse der dynamischen MRT Daten durchgeführt. Glocker et al. [2] und Kutter et al. [3] haben bereits ein Verfahren zur Bewegungsanalyse des Dickdarms vorgestellt. Allerdings gibt es unseres Wissens nach noch keine computergestützten Verfahren zur Bewegungsanalyse, die den gesamten Darmtrakt berücksichtigen.

In der hier vorgestellten Arbeit werden zwei Methoden zur Bewegungsanalyse des gesamten Darmtrakts unter Verwendung von deformierbarer Registrierung entwickelt. Ihre Einsatzfähigkeit wird im Folgenden anhand von 10 Datensätzen (5 Probanden und 5 Patienten) untersucht.

2 Methoden

Beide entwickelten Methoden sehen es vor, dynamische MRT Datensätzen zu nutzen, um die Bewegung des Darms patientenspezifisch über die Zeit zu quantifizieren. Die Daten wurden mit einem 1,5 Tesla MRT Scanner (Symphony, Siemens, Deutschland) unter Normalatmung als 3D+t Datensätze aufgenommen. Dabei erfolgte die Aufnahme in 10 koronaren Schichten mit je 30 Zeitschritten, da in den koronaren Schichten der Darm und dessen Bewegung am besten dargestellt wird. Die Aufnahmezeit beträgt 3-4 Minuten.

Um die Bewegung des Darmes mit Hilfe von deformierbarer Registrierung in angemessener Zeit zu bewerten ist es sinnvoll, die Registrierung nicht auf dem gesamten 3D+t MR Datensatz durchzuführen, sondern lediglich eine koronare Schicht zu extrahieren, die möglichst den gesamten Darmbereich beinhaltet. Hierzu wurde zunächst für jede der 10 koronaren Schichten aus dem 3D+t Datensatz ein eigener 2D+t Datensatz erstellt. Aus diesen neuen Datensätzen wurde dann manuell ein geeigneter Datensatz ausgesucht, der dann weiter verarbeitet wurde (Abb. 1(a)).

Mittels deformierbarer Registrierung aller 30 Zeitschritte der ausgewählten 2D+t Datensätze wurden Bewegungskarten zwischen den einzelnen Zeitschritten berechnet. Dazu wurde die Implementierung des Demons-Algorithmus [4] von ITK [5] angewendet und die Ergebnisse mit MITK [6] visualisiert.

Der Demons-Algorithmus liefert als Ergebnis ein Deformationsfeld zwischen den einzelnen Zeitschritten, das die Verschiebung für jeden Bildpunkt des Ausgangsbildes in Form eines Vektors enthält. Um eine Quantifizierung der Darmbe-

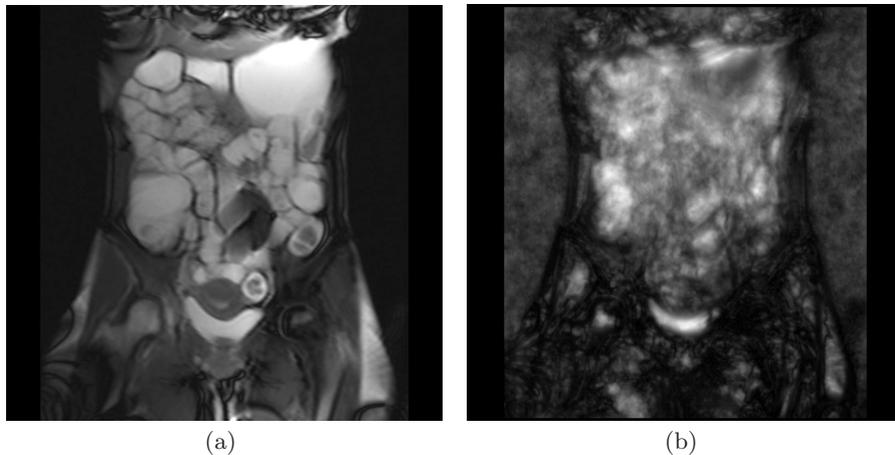


Abb. 1. (a): ausgewählte koronare Schicht einer MRT Aufnahme des Abdomens eines Probanden zu einem Zeitpunkt, die den Darmtrakt gut darstellt; (b): Vektorbetragsbild der Bewegung über alle 30 Zeitschritte mit künstlich entfernter Atmung: je heller der Bildpunkt, desto größer ist die Bewegung. Der größte Teil der Bewegung liegt innerhalb des Darmtraktes.

wegung über die Zeit zu erhalten, wurde ein neues Bild generiert, das für jedes Pixel des Ausgangsbildes die Summe der dazugehörigen Vektorbeträge aus den Deformationsfeldern der einzelnen Zeitschritte enthält und somit die gesamte Bewegung des Darmes darstellt.

Da bedingt durch die 3-4 Minuten dauernde Aufnahmezeit für die dynamischen MR Daten nur eine Aufnahme unter Normalatmung möglich ist, wird davon ausgegangen, dass ein großer Anteil der Bewegung zwischen den Zeitschritten durch Atmung entsteht. Deshalb wird das oben beschriebene Verfahren zur Generierung des Vektorbetragsbildes derart geändert, dass nur noch die laterale Bewegungskomponente aus den einzelnen Vektoren berücksichtigt wird. Hierzu wurde in jedem Vektor der Teil, der für die koronare Richtungsverschiebung steht, gelöscht und anschließend erneut das Betragsbild aus den Summen der Vektorbeträge aus den Deformationsfeldern der einzelnen Zeitschritte berechnet.

Für die automatische Klassifikation innerhalb eines CAD-Systems ist ein einzelner Wert von Vorteil. Deswegen erfolgt die Bewertung einer eingeschränkten Darmperistaltik anhand der mittleren Bewegung, also dem Mittelwert des Betragsbildes. In einer Vorstudie wurden die Ergebnisse der 5 Probanden mit denen der 5 Patienten mit diagnostizierter eingeschränkter Darmperistaltik verglichen. Dieser Vergleich erfolgte sowohl für die Ergebnisse mit Atmung, als auch für die Ergebnisse mit künstlich entfernter Atmung.

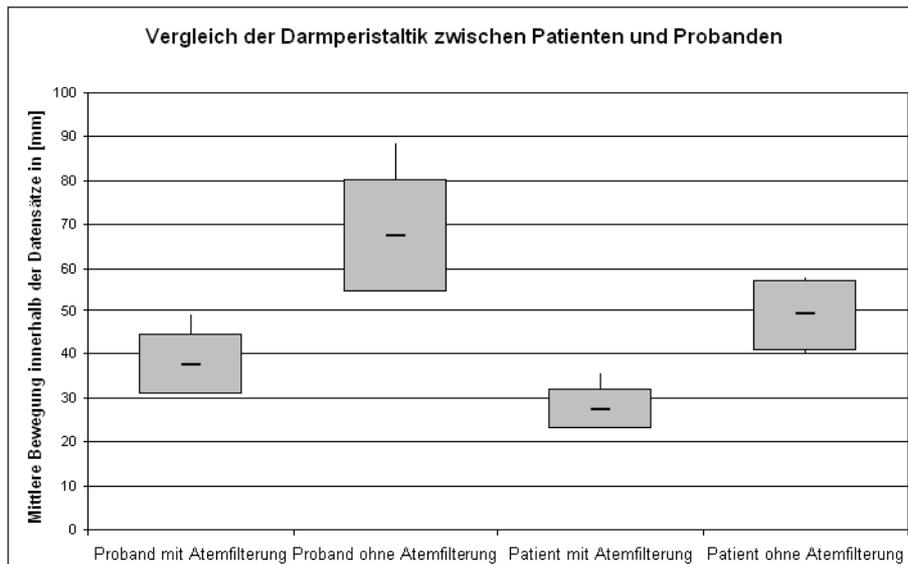


Abb. 2. Vergleich der Darmperistaltik zwischen 5 Patienten und 5 Probanden sowohl mit Atemfilterung als auch ohne Atemfilterung. Das Boxplot-Diagramm zeigt den Mittelwert, die obere und untere Standardabweichung sowie das Minimum und das Maximum der über jeweils 30 Zeitschritte gemittelten Bewegungen.

Tabelle 1. Mittlere Bewegung innerhalb eines Datensatzes in [mm], berechnet aus der gemittelten Summe aller Vektorbeträge der Deformationsfelder von 30 Zeitschritten.

	Mittlere Bewegung mit Atmung [mm]	Mittlere Bewegung ohne Atmung [mm]
Proband 1	57,7	35,5
Proband 2	68,4	38,5
Proband 3	56,7	31,4
Proband 4	66,0	33,4
Proband 5	88,4	48,9
Patient 1	56,6	25,6
Patient 2	41,7	26
Patient 3	58	35,4
Patient 4	40	24,1
Patient 5	48,8	26,1

3 Ergebnisse

Das Vektorbetragsbild eines Probanden in Abbildung 1(b) zeigt, dass die Bewegungen innerhalb einer Zeitserie hauptsächlich im Darmbereich auftreten und deshalb ein globales Verfahren zur Berechnung und zum Vergleich der Darmperistaltik zwischen Patienten und Probanden verwendet werden kann.

Tabelle 1 zeigt, dass die mittlere Bewegung in den Datensätzen der Probanden über 30 Zeitschritte mit künstlich entfernter Atmung ca. 5-10 mm höher ist als bei den Datensätzen mit eingeschränkter Darmperistaltik. Die Unterschiede der mittleren Bewegung der Probanden zur mittleren Bewegung der Patienten sind mit Atmung nicht immer eindeutig.

In dem Boxplot-Diagramm in Abbildung 2 wird der Vergleich der Darmperistaltik zwischen Patienten und Probanden dargestellt. Der Mittelwert der Darmbewegung bei den Probanden liegt sowohl mit Atmung als auch mit gefilterter Atmung höher als bei den Patienten.

4 Diskussion

Mit dem hier vorgestellten Verfahren mit künstlich entfernter Atmung ist es möglich festzustellen, ob eine eingeschränkte Darmperistaltik vorliegt. Aus den Ergebnissen kann man schließen, dass sich Probanden mit normaler Darmperistaltik hinsichtlich der Stärke der Bewegung innerhalb des Datensatzes über die einzelnen Zeitschritte von Patienten mit eingeschränkter Darmperistaltik unterscheiden.

Besonders durch unterschiedlich starke Atmung zwischen den einzelnen Patienten und Probanden kann es zu stärkeren oder schwächeren Summen der Bewegung aus den einzelnen Zeitschritten kommen. Deshalb konnte durch das

künstliche Entfernen der Atmung eine deutliche Verbesserung in der Bewegungsdifferenz zwischen den Probanden und den Patienten erzielt werden. Allerdings wurde mit diesem Vorgehen nicht nur Atembewegung entfernt, sondern auch Anteile von Darmbewegung. Zukünftige Analysen werden untersuchen, ob tiefe Atemzüge automatisch über einen Schwellwert für die koronare Bewegung detektiert werden können. Ist dies der Fall, so können die stark veratmeten Zeitschritte automatisch entfernt und aus benachbarten Zeitschritten interpoliert werden. Hierdurch könnte mehr Darmbewegung berücksichtigt werden.

Es wird angemerkt, dass mit den Beträgen der Bewegungsvektoren gerechnet wird. Ansonsten würde sich die Bewegung anteilsmäßig aufheben, da sich der Darm über die Zeit in alle Richtungen bewegt.

Eine zusätzliche Verbesserung des Verfahrens kann darin bestehen, nicht mehr global die mittlere Bewegung über den gesamten Datensatz zu berechnen, sondern diesen in kleinere, interessantere Bereiche zu unterteilen und diese getrennt von einander zu beurteilen. Dadurch wäre auch gleichzeitig eine Lokalisation der eingeschränkten Darmperistaltik möglich.

Das vorgestellte Verfahren mit künstlich entfernter Atmung vereinfacht die Befundung für den behandelnden Arzt, da nicht mehr sämtliche Zeitschritte betrachtet werden müssen, sondern direkt auf dem Bewegungsdatensatz nach Auffälligkeiten gesucht werden kann. Dies kann durch das Verwenden einer geeigneten Look-Up-Tabelle zusätzlich farblich verdeutlicht werden. Hierfür müssen aber noch weitere Studien mit einem größeren Probanden- und Patientenkollektiv durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

1. Froehlich JM, Patak MA, von Weymarn C, et al. Small bowel motility assessment with magnetic resonance imaging. *J Magn Res Imaging*. 2005;21(4):370–375.
2. Glocker B, Buhmann S, Kirchhoff C, et al. Towards a computer-aided diagnosis system for colon motility dysfunctions. *Proc SPIE*. 2007;6514.
3. Kutter O, Kirchhoff S, Berkovich M, et al. Spatio-temporal registration in multi-plane MRI acquisitions for 3D colon motility analysis. *Proc SPIE*. 2008;6915.
4. Thirion JP. Image matching as a diffusion process: An analogy with Maxwell's demons. *Med Image Anal*. 1998;2(3):243–260.
5. Ibanez L, Schroeder W, Ng L, et al. The ITK Software Guide. Insight Software Consortium; 2003. Available from: <http://www.itk.org/ItkSoftwareGuide.pdf>.
6. Wolf I, Vetter M, Wegner I, et al. The medical imaging interaction toolkit (MITK). *Proc SPIE*. 2004;5367:16–27.