

腸管ぜん動運動のシネ MRI 画像に対して 腸管全体の運動評価が可能な新しい解析手法の提案

A new method for analyzing intestinal motility in the whole region for movies of bowel movement captured by cine MRI.

伊藤 彰* 今井 國治*
Akira ITOH Kuniharu Imai

1. はじめに

小腸のぜん動運動が阻害される病態を診断するために、MRI 装置を用いて腸管を動画で撮像するシネ MRI 検査が行われている[1]。多くの場合、医師が目視で動画を評価し診断しているが、読影の負担や客観性に対する課題があり、定量評価を目指す研究が行われている。これらの研究では画像から腸管壁の空間的な位置を推定し内腔径を計測する方法が一般的である[2-3]。腸管内腔径の測定は大きく分けて、医師の判断による手動計測と、画像計測による自動計測の二つに分けられる。医師の判断による手動計測では、腸管壁の位置推定を目視で行う。動画を構成するフレーム一枚一枚に対して ROI を設定し、医師が腸管壁の位置を判断し画像ワークステーション上で腸管壁同士の距離を計測する。測定結果の信頼性が高く、腸管運動についてリファレンスデータが得られるが、測定に大変な労力を必要とする。

こうした背景により、画像計測による腸管内径の自動計測が試みられている。自動計測は大きく二つに分けられる。一つは画像上での腸管走行の長軸に沿った腸管の中心線を設定し、そこから腸管壁に向かって垂線を下ろすことで腸管系を測定する方法である[4-6]。この方法は医師の目視による測定を機械化したものである。測定点を増やすことが容易で、撮像面内全体の評価が期待されている。

もう一つの方法はオプティカルフロー法である。隣接フレーム間で移動前画素と、移動後画素の対応ペア間の移動ベクトルを検出する。移動ベクトルによって形成される画像平面上の二次元動きベクトル場をオプティカルフローと呼び、画像上での物体の見かけの速度分布を表している。オプティカルフローによる腸管運動評価は古くから試みられており[7]、製品として市販されているソフトウェアもある[8]。

しかし、腸管壁の運動を評価にはさらなる工夫が必要である。これには腹部シネ MRI の解像度の低さや階調の乏しさが障害になっている。シネ MRI は高速撮影が必要で解像度が低く、撮影に用いられる SSFP 系シーケンスはコントラスト分解能も低い。隣接フレーム間で腸管壁の移動前画素と移動後画素を推定するにあたって本質的な困難がある。Rijn ら[9]による研究では、オプティカルフローによる運動解析の結果に対して、二値化した腸管画像をマスクとして積算することで、腸管壁運動の抽出を試みている。

そこで本研究では腸管壁の位置推定に頼らない腸管運動評価の方法を提案する。現状のシネ MRI の解像度では、腸管運動の振幅は画像の空間解像度に対して相対的に小さく、その振幅は数ピクセルに過ぎない。場合によっては 1-2 ピクセルに過ぎず、位置推定の際には問題となる。ピクセルのグリッドを基準に位置決定すれば、小振幅の運動は失われる。そこで Farghal ら[10]の方法に注目した。この

方法はシネ MRI を構成するピクセル値の変化を評価する。あるピクセルに注目した際、そのピクセルの経時的な値の変化が大きければ、その場所にある腸管は盛んに運動をしていると見なす方法である。この手法に基づき、ピクセル値を周波数解析することで、呼吸による腸管の変位と腸管運動を分離することができた。ROI を設定する必要がないので、視野内全ての腸管に対して解析が可能である。腸管運動解析の新たな手法として本法を提案する。

なお本研究は伊藤が滋賀医科大学修士課程で実施した研究[11]をもとにしている。

2. 研究の目的

腸管壁の位置推定を必要としない腸管運動解析方法を開発する。

3. 提案手法の概要

3.1 実験プロトコール

撮像実験にはウサギ(日本白色種, Japanese White Rabbit; kbl:JW)を用いた。吸入麻酔で麻酔したウサギを仰臥位で固定し、自発呼吸下で撮影した。提案法が腸管運動を画像化できているか調べるために、腸管運動賦活剤と腸管運動を抑制する鎮痙剤を静注した。腸管運動賦活剤としてネオスチグミンメチル硫酸塩(ワゴスチグミン注(塩野義製薬, 大阪))を、鎮痙剤はブチルスコポラミン臭化物 ((ブスコパン, 日本ベーリンガーインゲルハイム, 東京)を使用した。動物実験については、滋賀医科大学動物実験委員会の承認(承認番号(2013-2-6HHH))を得て、実験動物の取り扱いに十分に配慮して実施した

3.2 撮影プロトコール

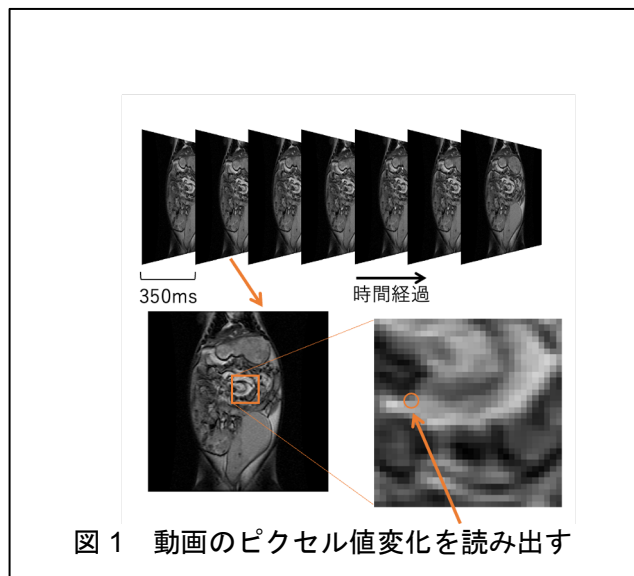
シネ MRI の撮影シーケンスはグラディエントエコー系の Steady state Free Precession (SSFP)系のシーケンスを使用した。撮像条件は、スライス厚 5 mm、FOV 280mm x 196mm、撮像マトリックス 256x128、繰り返し時間 2.4ms、エコー時間 1.2ms、フリップ角 70 度で、1 枚の撮像時間は 350ms とし、1 シリーズ 256 枚の画像を 89 秒間かけて連続的に撮像した。撮像中の呼吸停止や呼吸同期は行わず、自発呼吸下で撮像した。麻酔導入後、腸管運動を観察できるスライス面を選択し、薬剤負荷前後に撮像を行った。

3.3 画像処理

撮影したシネ MRI を PC に読み込み処理を行った。処理には MATLAB(MathWorks, Natick, MA)を用いた。

最初に撮像面を構成するそれぞれのピクセルに対し、経時的なピクセル値の変化を読み出した(図 1)。これに対して

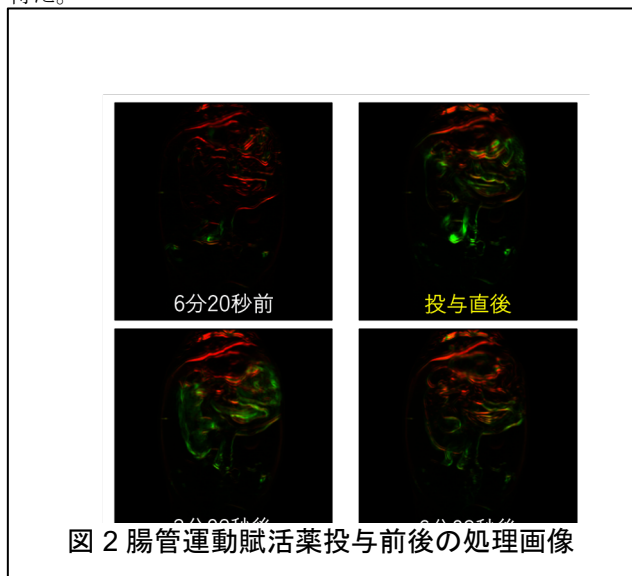
窓関数を掛け、高速フーリエ変換を適用し、パワースペクトルを得た。



全てのピクセルに対してこの処理を行い、腸管運動を反映する低い周波数(30bpm以下とした)と、呼吸を反映する高い周波数(40-80bpm)に異なる色を割り当てて処理画像を描画した(図2)。

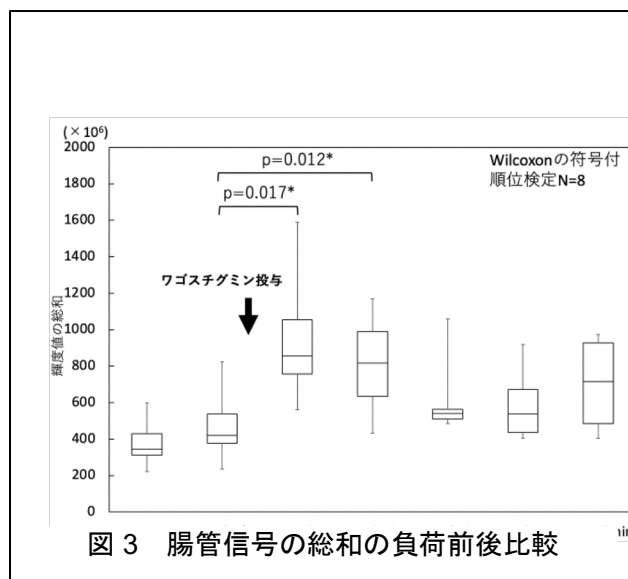
4. 結果

腸管運動賦活薬の投与前後で処理画像を作成して、図2を得た。



腸管運動賦活薬投与後に、画面下側に当たる腹部で信号が増加していることが目視できる。

さらに投与前後の信号値の総和を比較した。処理画像に対して腸管運動を反映する信号の総和をとり検定を行った。投与直後、投与3分後で有意差を認めた(図3)。薬剤負荷による腸管運動の賦活を信号化できていると考える。



謝辞

本研究は修士課程において、滋賀医科大学 神経難病研究センター 森川茂廣 客員教授ならびに、滋賀医科大学 医学部 看護学科 相見良成 教授のご指導のもと実施いたしました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Froelich, J. M. et al. "Small bowel motility assessment with magnetic resonance imaging", *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol.21, No. 4, (2005).
- [2] Wakamiya, M., Furukawa, A., Kanasaki, S. & Murata, K. "Assessment of small bowel motility function With cine-MRI using balanced steady-state free precession sequence", *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol.33, No.5 (2011).
- [3] Ohkubo, H. et al. "Assessment of small bowel motility in patients with chronic intestinal pseudo-obstruction using cine-MR", *The American journal of gastroenterology*, Vol.108, No.7(2013).
- [4] Menys, A. et al. "Spatio-temporal motility MRI analysis of the stomach and colon. *Neurogastroenterol*", Vol.31 ,No.5(2019).
- [5] 冬木晶子. "慢性偽性腸閉塞症の新規診断法：カラーマップ MRI の開発". <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-19K17499/> (2021). (Accessed 2023-6-15)
- [6] Bickelhaupt, S. et al. "Automatic detection of small bowel contraction frequencies in motility plots using lomb-scaregale periodogram and sinus-fitting method—initial experience", *Magn. Reson. Med.* Vol. 71, No.2(2014).
- [7] Menys, A. et al. "Global Small Bowel Motility: Assessment with Dynamic MR Imaging", *Radiology*, Vol. 269, No. 2 (2013).
- [8] Motilent. GIQuant® - Motilent.pdf. <https://grand-challenge.org/aiforradiology/product/motilent-giquant/> (Accessed 2023-6-15)
- [9] Rijn, K. L. et al. "Fasted and fed small bowel motility patterns at cine-MRI in chronic intestinal pseudo-obstruction", *Neurogastroenterol. Motil.* Vol. 33, No.6 (2021).
- [10] Farghal, A., Kasmai, B., Malcolm, P., Graves, M. & Toms, A. "Developing a new measure of small bowel peristalsis with dynamic MR: a proof of concept study", *Acta Radiologica*, Vol.53, NO. 6 (2012).
- [11] 伊藤彰, "MRI 画像による非侵襲的腸管運動評価の試み" 学位授与機関: 滋賀医科大学 修士(看護学) 第225号 平成30年3月9日(2018)