

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 25 日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16339

研究課題名(和文)複眼内視鏡を用いた消化管運動機能計測システムの開発

研究課題名(英文)Development of gastrointestinal motility measurement system using compound eye type endoscope

研究代表者

吉本 佳世 (Yoshimoto, Kayo)

大阪市立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：00735409

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：消化管の運動(蠕動・収縮・弛緩)機能を定量的に評価するために、複眼内視鏡を用いて3次元的に収縮波の計測および対象部位容積の計測を行うシステムを提案した。蠕動に対しては蠕動運動により発生する収縮波の位置・高さの時間変化を、弛緩・収縮に対しては対象部位の容積変化を用いて評価する。内視鏡先端のぶれを考慮に入れて収縮波及び容積を3次元的に計測するアルゴリズムの構築を行い、実機実験により提案システムの検証を行った。

研究成果の概要(英文)：For assessing the gastrointestinal motility, we proposed a system to measure contraction wave and volume using compound eye type endoscope. The amplitude and speed of contraction wave is used for the assessment of peristalsis, and the volume of gastrointestinal tract is used for the assessment of contraction / relaxation of tract. We constructed an algorithm to measure contraction wave and volume in three dimensions, taking into account changes in the tip position of the endoscope and evaluated the proposed system by using prototype system.

研究分野：医看工学

キーワード：内視鏡 3次元計測 消化管運動 複眼

1. 研究開始当初の背景

内視鏡などの検査で腫瘍や炎症など明らかな異常が認められないにも関わらず、胃もたれや腹痛、便秘などの胃腸症状が継続することがある。従来これらの症状は神経性のものとされており、治療しなければ命にかかわる致命的な疾患ではないため重要視されていなかった。しかし、近年になって4人に1人がこれらの症状を経験していると推測されるほど潜在的な有病率が高く、また罹患すると生活の質(QOL)が顕著に低下し、労働生産性も低下することが明らかとなり、重要な治療課題となっている[Ford et al.: Clinical gastroenterology and hepatology, Vol. 8, No. 5, pp. 401-9(2010)ほか]。これらの疾患は総称して機能的消化管障害と呼ばれており、消化管の運動機能が悪くなるのが原因といわれている。消化管の役割は主に食物の運搬・貯留・消化であるが、消化管の運動(蠕動・収縮・弛緩)はこれらすべてに密接に関与するため、消化管運動が障害されるとこれらの役割に影響し、発症するとされている。消化管の運動状態を把握できれば、投薬など適切なタイミングで治療を行うことができるため、消化管運動機能の定量的評価が可能なシステムが望まれている。

消化管の運動機能を評価する方法として、シンチグラフィや胃電図、超音波、MRI(Magnetic Resonance Imaging)などを用いた方法が検討されている。中でも、MRIは消化管壁の形状を非侵襲で取得できることから、消化管の容量や消化管壁の運動を計測するために用いられるようになってきた。MRIを用いた先行研究により、消化管の容積や蠕動運動の強度・速度が健常者と機能的消化管障害の患者で異なることが示唆されている[Ajaj et al.: Gut, Vol. 53, No. 9, pp. 1256-61(2004)ほか]。しかし、消化管は3次元の形状を有し、3次元の運動が発生する一方で、MRIでとらえることのできる時系列の消化管形状は断面像(2次元)であるという限界が存在する。また、MRIを用いた消化管運動の評価は、得られた断面像から目視で消化管壁の距離を抽出し、断面の変化や蠕動の移動速度などのパラメータを取得しているのが現状である。そのため、体内での消化管の位置や撮像条件によっては、運動機能を過小・過大評価してしまう可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では消化管の運動機能を定量的に評価するために、複眼内視鏡を用いて3次元的に収縮波の計測および容積の計測を行うシステム(図1)の開発を目的とする。蠕動に対しては蠕動運動により発生する収縮波の位置・高さの時間変化を、弛緩・収縮に対しては対象部位の容積変化を用いて評価する。複眼内視鏡を用いて得た消化管壁の3次元形状からこれらの計測を行うシステムの構築を行い、その基本要素技術の確立を目指す。

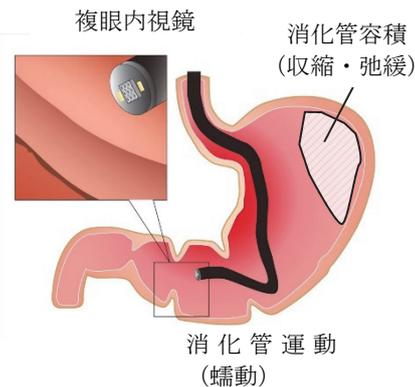


図1 提案システムの概念図

3. 研究の方法

複眼光学系から得られた多眼画像の3次元形状再構成を行うことで、消化管形状の3次元点群が得られる。得られた3次元点群データを用いた容積計測アルゴリズムの構築と収縮波計測アルゴリズムの構築を行う。容積計測については、画像中で指定した区間の体積の算出を目指す。また、収縮波の計測については、消化管壁の形状中に含まれる、蠕動運動により生成された収縮波の抽出を行い、収縮波の高さ、移動速度、波の広がりのパラメータの自動計測を目指す。加えて、内視鏡の視野の拡大と手ぶれへの対応を目的とし、複眼内視鏡画像から内視鏡先端と消化管の相対的な位置関係の時間変化を推定するアルゴリズムの開発を行う。内視鏡は手ぶれの影響を受けるため、撮影画像のフレーム間で内視鏡と消化管壁の位置関係が変化してしまう。フレーム間における内視鏡姿勢の変化を推定し、フレーム間で位置合わせを行うことで、内視鏡先端と観察している消化管壁の相対的な位置関係を一定とし、手ぶれによる見かけの変化の影響を除去して形状の時間変化を得ることができる。また、内視鏡の視野は狭いため、一度に取得できる範囲には制限があるが、内視鏡を移動させながら計測を行い、データ間の位置合わせをすることで形状データの擬似的な視野拡大を狙う。

以上のアルゴリズムを組み込んだ試作システムを作成し、実機実験によって提案システムの有効性を検証する。

4. 研究成果

(1)容積の計測

消化管は概ね直管の連結で近似できると考え、消化管壁の3次元形状を管の中心を通る複数の楕円でモデル化する。この過程の下では、複眼内視鏡から得られた3次元形状データを内視鏡先端から一定距離ごとに分割したものは楕円となる。距離ごとに分割したデータに対して楕円のフィッティングを行い、得られた楕円の面積に距離の分割間隔を掛けて足し合わせることで、容積の推定を行う。初めに、変形せず直管状であり、また目盛りを用

いることで画像中の指定区間の容積が既知となるシリンジを用いて検討を行った。容積 20mL に対して、計測データから算出した容積は $20.06 \pm 0.28\text{mL}$ ($n=3$) であり、この手法により容積が計測できることを確認した。また、ピストンをつないだ風船内部を撮影し、内部に挿入した空気量と内視鏡により計測した容積の比較を行ったところ、内部に挿入した空気量と、内視鏡画像から計測した容積は比例関係にあったが値は一致しなかった。この原因は、内視鏡に近い距離の風船壁面は内視鏡の視野外となるためデータが取得できないためである。そこで、計測不能な近距離の面積は計測可能な領域のうち最も内視鏡に近い距離における面積と等しいと仮定し、推定容積を算出したところ、挿入した空気量と推定容積がほぼ一致した。図 2 に挿入した空気量と風船の推定容積の関係を示す。以上の結果より、提案手法の有効性を確認した。

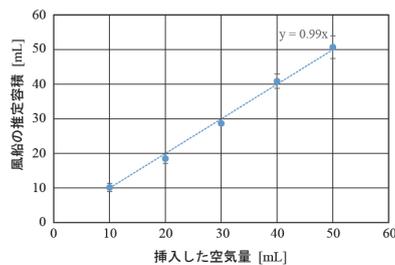


図 2 風船による容積計測の結果

(2) 内視鏡の姿勢推定

ステレオマッチング及びフレーム間マッチングにより、撮影した対象物表面の 3 次元フローを得る。図 3 に 3 次元フローの例を示す。得られたフローから、基準フレームに対しての回転量、並進移動量を推定する。ただし、消化管の運動計測を想定しているため、撮影シーンの変化として、内視鏡と対象物の位置変化に加え、消化管自身の形状変化が存在する。このため、単純な最小二乗法では消化管自身の形状変化が内視鏡の姿勢推定に悪影響を及ぼす。そこで、消化管自身の形状変化の影響を映像中の消化管運動の範囲は小さいものと仮定し、消化管運動の影響を受けたフローを外れ値とみなし、RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS) を用いて姿勢推定を行う。RANSAC とは、パラメータ推定を繰り返すことで外れ値を除外し、真値に近いパラメータを算出する手法である。実際の内視鏡のフレームレートを考慮して、フレーム間におけるブレは小さいものと考え、並進移動を x, y, z 軸それぞれについて $0 \sim 3\text{mm}$ 、回転量を x, y, z 軸それぞれについて $-2^\circ \sim 2^\circ$ の範囲で設定し、CG 画像の作成及び実写画像の撮影を行った。基準フレームの点を設定値により移動させたときの点と画像から推定した推定値により移動させた点との距離を誤差として評価を行ったところ、すべての設定値において誤差 1mm 以内で位置合わせが行えることを確認した。また、撮影画像中に蠕動波を模擬した、内視鏡の移動とは別に変化する部分がある場合においても同様に評価を行い、同じく誤差 1mm 以内で位置合わせが行えることを確認した。

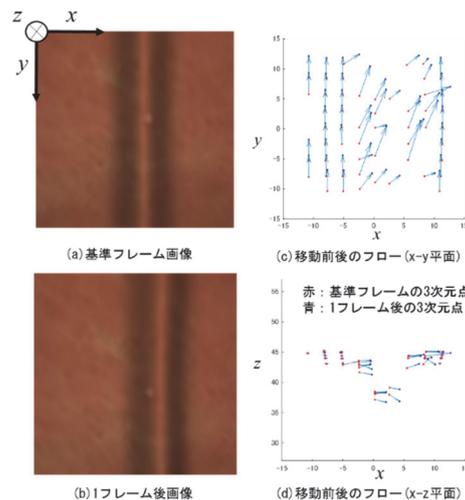


図 3 フレーム間マッチング及びステレオマッチングにより得られた 3 次元フロー

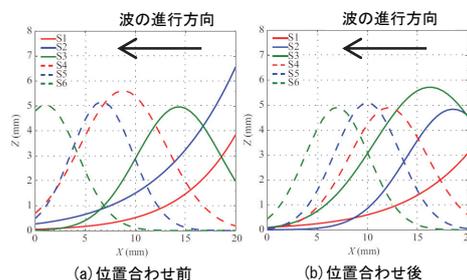


図 4 推定した収縮波の断面図

合がでることなく、形状データをつなぎ合わせる事ができていることを確認し、消化管自身の変形が無い場合には、計測した 3 次元形状データの領域を拡大できることを確かめた。

(3) 蠕動運動の計測

蠕動運動の評価を行うことを目的とし、対象物上の蠕動波の位置、高さの計測を行う。多眼画像から得られた消化管壁の 3 次元形状をフレーム間で引き算することで、形状が変化した部分、つまり蠕動運動により生成された収縮波を抽出し、ガウス関数をフィッティングすることで波の高さ、位置の時間変化を推定する。移動する波を模擬した対象物としてプラスチック製のコイルを用いた。また、臨床での撮影環境を考慮し、ランダムな動きをカメラに加えて撮影を行った。前述の内視鏡姿勢推定により形状データのフレーム間位置合わせを行った場合、行わなかった場合で比

また、形状データの範囲拡大の評価として、変形しない直管状のパイプ内部に内臓を模擬した模様を貼り付けたものの中にカメラを挿入し、移動させながら撮影を行った。推定した移動量を用いて、3 次元形状データをフレーム間で位置合わせしたところ、模様にな

較を行った。対象物上に作成した波の高さ5mm、移動量3mmに対し、位置合わせをせずに推定を行った場合、波の平均高さ 5.2 ± 0.3 mm、平均移動量 4.4 ± 2.0 mmとなり、位置合わせを行って計測した場合、波の平均高さ 5.1 ± 0.4 mm、平均移動量 2.8 ± 0.9 mmとなった。また、位置合わせを行わない場合、波のパラメータ化に失敗することがあったが、位置合わせを行うと安定してパラメータ化することができた。図4に位置合わせ前後の推定した収縮波の断面図を示す。ただし、波はS1→S2→…→S6の順で3mmずつX軸負の方向に動かしている。図4(a)位置合わせ前は波の高さ、移動量共にばらつきがあるのに対し、同じデータで位置合わせを行った図4(b)位置合わせ後は波の高さ、移動量共に安定した結果が得られている。以上の結果により、収縮波計測における内視鏡移動量推定によるフレーム間位置合わせの有効性を確認した。

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト、今後の展望

本研究で構築したシステムは、複眼内視鏡画像から得た3次元データを処理することで消化管の動きを直接的に定量化することを目指したものである。従来はMRIを用いた検討や間接的なものが中心であり、内視鏡を用いた試みはほとんどされていない。複眼内視鏡を用いることで、色情報(テクスチャの情報)を含めた3次元形状を得ることができ、消化管の目視による観察と運動機能の計測を同時に行える。この点は他の既存システムにはない大きな利点である。

しかし、現状のシステムは生体内で計測可能であると想定できる段階に至っていない。生体材料(豚の腸など)に対して同様の検討を行ったが、生体組織に対するステレオマッチングの精度が悪く、容積や運動の計測には至らなかった。今後は、狭帯域光観察や偏光を用いた観察など光学系の工夫及びアルゴリズムの改善を行い、生体組織に対する3次元形状データ取得の改善を検討していきたい。システムの改善により消化管の運動機能を定量的に評価できるようになれば、適切な治療が行えるようになり、また治療効果の有無も評価できることから疾患の根本原因の解明や効率的な薬の開発に貢献することが予想される。また、内視鏡先端に圧センサを取り付け、内圧の計測と今回確立した容積計測を同時に行うことで、内圧と容積の関係から消化管のコンプライアンスの評価も可能と考えており、更なる発展が見込まれる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計3件)

- ① Kayo Yoshimoto, Kenji Watabe, Tetsuji Fujinaga, Hideki Iijima, Masahiko Tsujii, Hideya Takahashi, Tetsuo Takehara, Kenji Yamada, "Evaluation of endoscopic entire 3D image acquisition of the digestive tract using a stereo endoscope", Proc. SPIE 10054, Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic and Surgical Guidance Systems XV, 1005412, 2017年1月31日, San Francisco(USA)
- ② 野邊和紀, 吉本佳世, 高橋秀也, 消化管運動の3次元計測に向けたステレオ内視鏡の姿勢推定に関する研究, 平成28年電気関係学会関西連合大会, 2016年11月22日, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス(大阪府・堺市)
- ③ Kayo Yoshimoto, Kenji Yamada, Kenji Watabe, Tetsuji Fujinaga, Michiko Kido, Toshiaki Nagakura, Hideya Takahashi, Hideki Iijima, Masahiko Tsujii, Tetsuo Takehara, Yuko Ohno, "Evaluation of motion compensation method for assessing the gastrointestinal motility using three dimensional endoscope," Proc. SPIE 9698, Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic and Surgical Guidance Systems XIV, 969819, 2016年2月14日, San Francisco(USA)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉本 佳世 (YOSHIMOTO, Kayo)

大阪市立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 00735409