

令和 6 年 4 月 17 日現在

機関番号：32206

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12737

研究課題名（和文）内視鏡を用いた3次元胃形態計測システムの開発：胃もたれの病態解明と診断への挑戦

研究課題名（英文）Development of a 3-dimensional gastric morphometric measurement system using an endoscope

研究代表者

鈴木 翔（Suzuki, Sho）

国際医療福祉大学・医学部・教授

研究者番号：50813581

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究期間を通じて胃や大腸などの消化管の内圧と容積（内視鏡からのガス注入量）の測定に成功した。しかし、これらの測定値と消化管の3次元形状とを統合した評価は困難であった。本研究の過程で機械学習を用いた仮想の色素内視鏡画像の生成に成功したことも本研究から派生した成果である。我々はこの仮想色素内視鏡が胃癌の診断に役立つ可能性についても見出した。さらに、我々は本研究を通じて取得した消化管内圧と容量測定手法を大腸に流用し、大腸内視鏡挿入時に内圧とガス注入量の測定が手技の改善に役立つ可能性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、消化管の内圧、容量、3次元形状という内視鏡検査ではこれまでに評価できなかった項目について客観的な計測を試み、いくつかの点で成功したことである。この3項目を統合し疾患の診断に結びつけることは出来なかったが、本研究から派生して機械学習を用いた胃の仮想の色素内視鏡画像の生成と大腸内視鏡挿入時に内圧とガス注入量の測定に成功したことも、従来の内視鏡検査の主要な目的である胃大腸腫瘍の発見に将来的に貢献し得る成果である。

研究成果の概要（英文）：Throughout this research period, we succeeded in measuring the internal pressure and volume (amount of gas injected from the endoscope) of the gastrointestinal tract, such as the stomach and colon. However, it has been difficult to evaluate these measurements and the three-dimensional shape of the gastrointestinal tract. Another result derived from this research was the success in generating virtual chromoendoscopy images using machine learning during the course of this research. We also discovered that this virtual chromoendoscopy may be useful in diagnosing gastric cancer. Furthermore, we applied the gastrointestinal internal pressure and volume measurement method obtained through this research to colonoscopy procedure, and found that measuring internal pressure and gas injection volume during colonoscopy insertion may be useful for improving the procedure.

研究分野：消化器内視鏡

キーワード：胃 3次元 内圧 内視鏡

1. 研究開始当初の背景

機能性ディスぺプシア（functional dyspepsia: FD）は、腹部不快感や膨満感といった胃もたれの症状を慢性的に呈し、日常の生活の質を大きく障害する疾患である。FDの有病率は胃もたれ症状の約50%を占めるとの研究報告がある。しかし、FDには診断の根拠となる特異的な理学検査や客観的な診断基準がないため、日常臨床ではFDの多くが診断に至らずに見過ごされている可能性がある。したがって、医師の主観や経験に左右されずに、FDを正確に診断するための理学検査と診断基準が臨床で求められている。

「胃下垂だから胃がもたれる」という風説があるように、胃の形態がFDの病態に関わっていると考えられる。袋状の臓器である胃の形態は、①形状②容量③内圧の3点で構成される。実際に、FD患者では胃内視鏡検査中に健常人よりも少ない送気量、低い内圧で不快感を呈するとの報告があり、胃の形態とFDとの関連を示唆している。しかし、胃の形態を規定する重要な要素である“胃の形状”を評価する方法は全く定まっておらず、胃の形状とFDとの関係は不明である。こうした胃の形状の評価手法の欠如が、胃の形態とFDとの関係解明の障害となり、FDの診断基準が定まらない大きな原因である。

これまでも胃バリウム透視やCTなどの放射線検査で、胃の形状を表示することはできた。しかし、これらの放射線検査は、発泡剤で胃を拡張させるために、胃の寸法や容量を調整できず再現性もないという大きな欠点があり、胃の形状を客観的に評価できなかつた。また、大きなプラスチック製バッグを胃内で膨らませて容量と内圧を測定する方法があるが、この検査手法は、特殊な機器を要し、患者が自制できない限界まで胃を拡張するために苦痛が大きく、また胃穿孔などの危険性もある。このような問題点から、日常臨床では胃の形状だけでなく容量と内圧も測定できていない。

我々は、これまでに内視鏡動画像からの胃の3次元形状の復元に成功し、胃の3次元形状が個人間で異なることを見出している。この3次元復元技術をさらに発展させ、内視鏡検査中の送気量と胃内圧の測定値を組み合わせて解析することで、胃の形状・容量・内圧を統合した「胃の形態」を数値化して客観的に評価する手法を開発できるのではないかと考えた。そして、この手法が確立すれば、内視鏡検査だけで胃の形態を数値化して評価でき、FDの客観的な診断手法が確立できると期待した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、内視鏡検査から胃の形状・容量・内圧を統合した「胃の形態」を数値化して評価するシステムを開発し、胃の形態（3点の相互関係）の共通点と差異を解明することである。本研究は、将来的に胃の形態とFDなどの疾患との関係を解明するための基盤システムを開発するものである。

3. 研究の方法

我々はこれまでの研究で内視鏡動画像から胃の3次元形状は復元できたが、モデルの寸法と容量ならびに胃内圧は測定できていない。そこで、シリコン製胃モデルを用いて胃の3次元形状・容量・圧測定システムの構築を試みた。市販されている内視鏡トレーニング用のシリコン製胃モデルは、胃内部表面の色調と構造が平滑であるため本研究の再現には不十分であった。そこで、本研究専用の胃モデルを作成した。胃モデル内全体を市販のハイビジョン軟性内視鏡（GIF-

H290) で観察、記録し、記録した動画像から Structure from Motion 技術を用いて胃の 3 次元形状の復元を試みた。その過程で Structure from Motion に適した胃内部構造・色調を検証し、様々な仕様を作成し比較した。

また、内視鏡を通じた圧と容量（ガス注入量）を測定するシステムを構築した。市販されている汎用測定機器（FD-A10 および AP-C30）を用いて内視鏡に接続する回路を作成した。測定単位は、内圧は kPa、容量は ml に決定した。空気または二酸化炭素ガスを内視鏡から注入し、回路にリークがないか、また注入物によって容量と内圧に誤差が生じないかを検証した。以上の方法により、シリコン製胃モデルの 3 次元形状、内圧、容量（ガス注入量）を測定または再現した結果の各項目間の相関を解析し、3 つの項目を統合した評価方法の確立を目指した。

4. 研究成果

(1) 胃モデルの 3 次元形状について

Structure from Motion 技術での 3 次元形状復元には、撮影した画像内に多数の特徴点を認識することが重要である。胃内の表面（胃粘膜）は平滑かつ単一な淡い赤色調であるため、軟性内視鏡での通常の観察画像では、画像内に十分な特徴点が認識される再現に不十分であった。そこで、シリコン製胃モデルの内面構造の仕様を様々に変更し、各仕様毎に撮影して、特徴点の認識の程度を検証した。具体的には、生体の胃の色調に近い淡赤色のシリコンに青～黒色の糸を埋め込み、赤と青-黒の色調コントラストを高めた。これは、我々のこれまで研究で明らかにしていた、生体胃の 3 次元形状復元に効果的であったインジゴカルミン色素内視鏡画像を模したものである。しかし、青-黒色の糸の太さや埋め込む密度を様々に変更したものの、Structure from Motion 技術で再現できるほどの十分な特徴点を認識できなかった（図 1）。そこで我々は計画を変更し、糸の埋め込みではなく、青-黒色の網目模様を胃モデル表面に印刷する方法に仕様を変更した。様々な印刷パターンを作成し、検証した。最終的に黒色線径 1mm 未満の黒色線によって構築された網目構造が特徴点を最大に認識できる構造であることが明らかとなり、Structure from Motion 技術での胃 3 次元形状復元に最適であると結論に至った。

また、シリコン胃モデルの仕様変更と並行して、機械学習を用いた再現手法の構築も進めた。上述のようにインジゴカルミン色素内視鏡画像が Structure from Motion 技術での再現に最適であり、我々は既にこの色素内視鏡画像の機械学習での再現に取り組んでいた。多数の胃の内視鏡画像を収集し、この機械学習での仮想の色素内視鏡画像生成の精度を向上できた。



図 1. Structure from Motion 技術で特徴点を認識するためのシリコン製胃モデル内部構造

(2) 内視鏡を通じた消化管内圧・容量測定について

内視鏡専用の圧力・容量測定機器は販売されていないため、汎用のセンサー機器ならびに測定ソフトウェアシステムを使用した。そのため、内視鏡機器と汎用機器との接続に様々な試行を繰

り返した。容量測定は、内視鏡へ注入した炭酸ガス量を、流量センサーを用いて測定した。炭酸ガス送気チューブを分割し、その間に流量センサーを組み込むことで測定可能となった。一方で、圧力の測定は数回の仕様変更を要した。当初は、圧力センサーを接続した点滴用チューブを内視鏡鉗子孔に組み込み、鉗子孔と点滴用チューブを通じて消化管内圧を測定することを試みた。しかし、この方法では消化管内の液体や残渣を吸引した際に、接続したチューブ内にも液体が逆流してしまい、チューブが液体で閉塞してしまうことで気体である消化管内圧が測定できないことが判明した。内視鏡の吸引経路と内圧測定の経路は分離、独立する必要があることが明らかとなり、そのための手法として、送気・送水用の長いチューブが付属した内視鏡先端フードを流用することを考案した。この先端フードに付属したチューブに圧力センサーを接続することで吸引操作による閉塞を回避することができ、消化管内圧を正確に測定できた。また、この先端フードは医療機器として承認されているため生体への使用にも問題はなく、将来的に臨床研究を行う上で障壁とならないことも利点である。このように本研究を通じて、内視鏡を用いた消化管内圧および容量測定システムを確立した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	紋野 雄介 (Monno Yusuke) (10744477)	東京工業大学・工学院・特任准教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関