

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K09057

研究課題名(和文) 3D内視鏡を用いた消化管機能の計測

研究課題名(英文) Measurement of gastrointestinal function using 3-D endoscope

研究代表者

渡部 健二 (Kenji, Watabe)

大阪大学・医学部附属病院・准教授

研究者番号：50379244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：消化管機能性疾患はよく遭遇する疾患で、消化管の運動や拡張の異常などが病態とされる。世界標準の検査は特殊で、日本では普及していない。我々は複眼内視鏡の3次元計測技術が消化管機能を計測できる可能性について基礎的技術検証を行い主に以下の結果を得た。1) 消化管運動の検出：複眼内視鏡は2mm/sで移動する収縮波を1.74mm/s(誤差13%)と観測した。2) 消化管拡張の検出：複眼内視鏡は直径20mmの円柱の直径を19.6mm(誤差3%)、直径20mmの半球の容積を1.9mm³(理論値2.09、誤差9%)と観測した。以上より、本技術は消化管機能を高精度に測定する可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The functional gastrointestinal disorders (FGID) are common in daily practice. Their pathophysiology includes impaired gastrointestinal motility and distention. World standard test for FGIDs requires specialized equipment and is rarely used in Japan. We previously developed technique of 3-D measurements using stereo endoscopy which mounted a compound eye system. Here, we examined its basic specification for measuring gastrointestinal function. Major findings are as follows. Stereo endoscope measured the movement of peristaltic wave which was set to 2 mm/s as 1.74 mm/s (13% error). Stereo endoscope measured the diameter of a cylinder which was built 20 mm in diameter as 19.6 mm (3% error) and the volume of a half-sphere which was built 20 mm in diameter as 1.9mm³ (theoretical value 2.09, 9% error). These findings demonstrate the potential of our stereo endoscopy to measure the gastrointestinal function precisely.

研究分野：消化器内科学

キーワード：機能性消化管疾患 3D内視鏡

1. 研究開始当初の背景

消化管機能性疾患（機能的ディスペプシアや過敏性腸症候群など）は日常的によく遭遇する疾患である。病態として消化管における運動異常や拡張異常などが想定され、それらを検査する方法として前者は内圧検査、後者はバロスタット検査が世界の標準とされている。しかし、これら検査は特殊であり日本では普及していない。その代わりとして超音波やMRIによる検査が期待されている。

我々は複眼内視鏡による3次元計測技術（3D内視鏡）を開発した。内視鏡は時間および空間分解能において超音波やMRIを上回るため、3D内視鏡は消化管機能を高精度に計測できる可能性を持つ。

2. 研究の目的

3D内視鏡が消化管機能（運動、拡張）を計測する能力について基礎的な技術検証を行う。

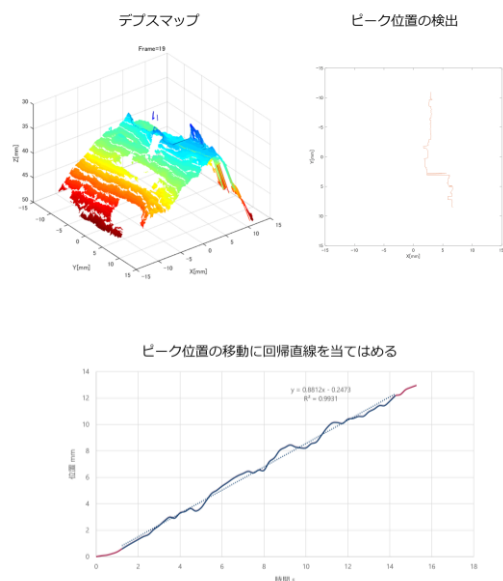
3. 研究の方法

1) 複眼内視鏡の構造と三次元計測の原理
共同研究者の山田らは薄型の複眼視システム TOMBO (Thin Observation Module by Bound Optics) を開発した。TOMBO はマイクロレンズを並列的に配置した画像技術であり、レンズ毎に画像情報が少しずつ異なる。その画像情報の「ずれ」に基づく三角測量で三次元計測する。

2) 消化管運動の計測

本研究では運動速度を測定した。真の運動速度を知るため、速度設定可能な自動ステージを使った。測定対象を自動ステージの上に設置し、任意の速度で移動させ、3D内視鏡で真上から観測する。同構造物のデプスマッピングを作成してピーク位置を検出、このピーク位置の移動をトレースして回帰直線を当てはめて移動速度を算出した (図1)。

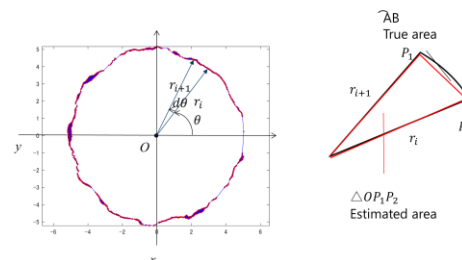
図1 消化管運動の計測方法



3) 消化管拡張の計測

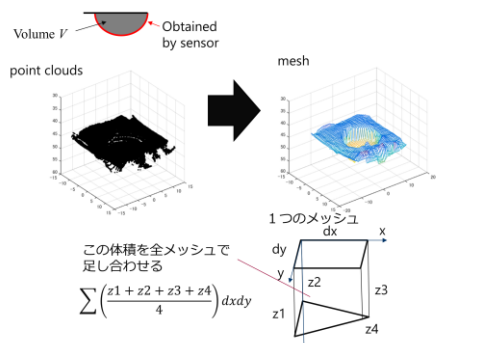
本研究では消化管を円柱および半球とみなし、円柱においてはその直径あるいは面積、半球においてはその容積を計測した。円柱の直径は円を当てはめて算出、面積は観測された内腔の点を結び角度のずれを積分して算出した (図2)。

図2 円柱の面積解析方法



半球の容積算出にはメッシュを利用した。デプスマップよりメッシュを作成し、メッシュ毎に容積を算出してそれらを積分することにより算出した (図3)。

図3 半球の容積解析方法

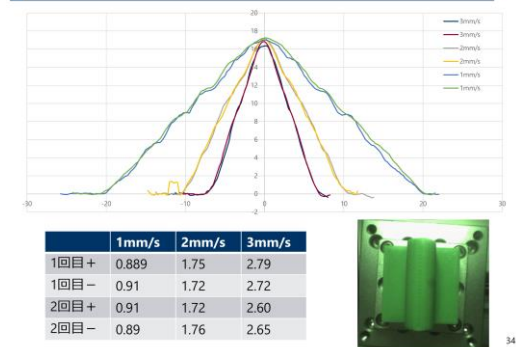


4. 研究成果

1) 消化管運動の計測

3Dプリンターで作成した蠕動波を秒速1, 2, 3ミリで2往復移動させ、3D内視鏡で真上から観測した。ピーク位置の移動およびそこから算出される往路、復路毎の速度を図4に示す。測定誤差は1割以内であった。

図4 消化管運動の計測、3Dプリンター



生体材料を対象に測定したときの測定精度を検証するため、3Dプリンター産物の上にウシ小腸を乗せて先の実験と同様の速度設定で2往復させ、3D内視鏡で真上から観測

した。ピーク位置の移動およびそこから算出される往路、復路毎の速度を図5に示す。測定誤差は先の実験と同様に1割以内であり、本技術は生体材料の測定にも有用であることが示された。

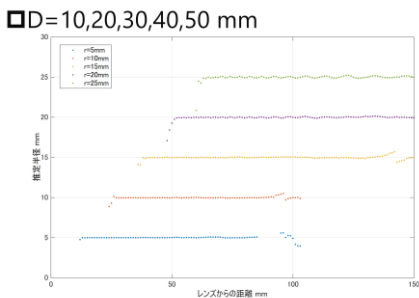
図5 消化管運動の計測、ウシ小腸



2) 消化管拡張の計測 ・直径

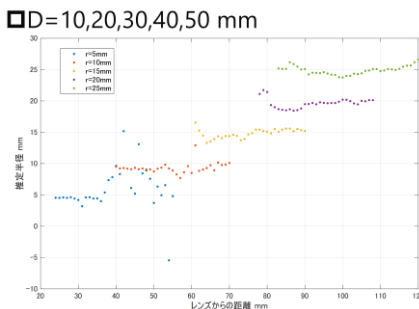
仮想空間にて内腔直径10, 20, 30, 40, 50ミリの円柱を作成、その内腔を3D内視鏡で観測、レンズからの距離毎に径を算出した(図6)。高い精度で計測されており、計測のためのアルゴリズムが適性であることが示された。

図6 円柱の半径、仮想空間



3Dプリンターで内腔直径10, 20, 30, 40, 50ミリの円柱を作成、その内腔を3D内視鏡で観測、レンズからの距離毎に径を算出した(図7)。

図7 円柱の半径、3Dプリンター

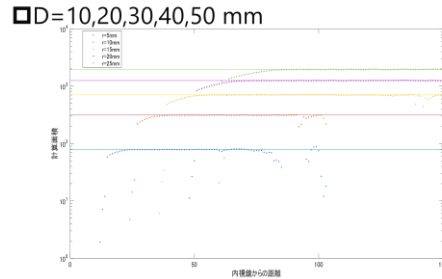


直径10ミリの測定精度が不良であるが、視野角度が狭く情報量が少ないことが原因と思われる。換言すると、視野角度の広い空間が観測の対象であれば、観測精度は良好であ

ると期待される。

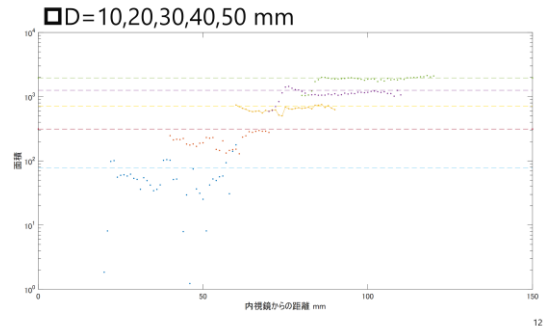
・面積
仮想空間にて内腔直径10, 20, 30, 40, 50ミリの円柱を作成、その内腔を3D内視鏡で観測、レンズからの距離毎に面積を算出した(図8)。

図8 円柱の面積、仮想空間



3Dプリンターで内腔直径10, 20, 30, 40, 50ミリの円柱を作成、その内腔を3D内視鏡で観測、レンズからの距離毎に面積を算出した(図9)。

図9 円柱の面積、3Dプリンター



・容積
内腔直径10, 20, 30, 40, 50ミリの半球を仮想空間および3Dプリンターで作成、3D内視鏡で内腔を観測、容積を算出した(図10)。

図10 半球の容積、仮想空間と3Dプリンター

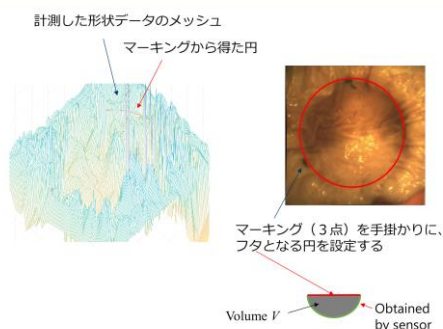
半球直径 [mm]	容積理論値 [cm³]	容積計測値 仮想空間 [cm³]	容積計測値 3Dプリンター [cm³]
10	0.26	0.26	0.21
20	2.09	2.03	1.9
30	7.07	6.79	6.37
40	16.76	16.30	16.3
50	32.72	31.48	34.53

仮想空間での計測値は精度が高く、アルゴリズムが適性であることが示された。3Dプリンター造形物に対する測定精度は誤差1割以内であった。

生体材料を対象に測定したときの測定精度を検証することにした。容積が臨床的に間

われる現場の1つは、機能性ディスペプシアにおける胃底部の拡張能である。そこで、直径70ミリの半球を3Dプリンターで作成、ブタの胃底部（厚み5～10ミリ）をその上に乗せ、真上から3D内視鏡で観測した。内視鏡をローテーションさせて姿勢を変え、3通りの姿勢で観測した。容積を計測する上限を設定するため、半球の上側の3点をマーキングした。（図11）

■ 図11 半球の容積、ブタ胃底部



測定結果が正しいか判定するための比較対照として、水を注入して上限3点までを埋めるのに必要な水容量を3回測定した。

3D内視鏡によって計測された容積は $4.8 \pm 1.6 \text{ cm}^3$ であるのに対し、水容積は $4.6 \pm 0.8 \pm 0.6 \text{ cm}^3$ であった。水容積を基準として判断すれば、生体材料を対象とした容積計測の測定誤差は1割以内であった。

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 6 件）

1. Screening Sleep Disordered Breathing with Noncontact Measurement in a Clinical Site. Watabe K (4th). 他 5 名. Journal of Robotics and Mechatronics. Vol 29. p327-337. 2017
2. Tissue Drug Concentrations of Anti-tumor Necrosis Factor Agents Are Associated with the Long-term Outcome of Patients with Crohn's Disease. Watabe K (11th). 他 12 名. Inflamm Bowel Dis. Vol 23. p2172-2179. 2017
3. p53 functional deficiency in human colon cancer cells promotes fibroblast-mediated angiogenesis and tumor growth. Watabe K (12th). 他 16 名. Carcinogenesis. Vol 37. p972-984. 2016
4. Integrated diagnostic strategy for the invasion depth of early gastric cancer by conventional endoscopy and EUS. Watabe K (11th). 他 14 名. Gastrointest Endosc. Vol 82. p452-459. 2015
5. The effectiveness of an anti-human IL-6 receptor monoclonal antibody combined with chemotherapy to target

colon cancer stem-like cells. Watabe K (17th). 他 19 名. Int J Oncol. Vol 46. p1551-1559. 2015

6. 5-FU resistance abrogates the amplified cytotoxic effects induced by inhibiting checkpoint kinase 1 in p53-mutated colon cancer cells. Watabe K (18th). 他 20 名. Int J Oncol. Vol 46. p63-70. 2015

〔学会発表〕（計 2 件）

1. Evaluation of endoscopic entire 3D image acquisition of the digestive tract using a stereo endoscope. Watabe K (2nd). 他 7 名. Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic and Surgical Guidance Systems. Vol 10054. p1005412. 2017
2. Evaluation of motion compensation method for assessing the gastrointestinal motility using three dimensional endoscope. Watabe K (3rd). 他 6 名. Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic and Surgical Guidance Systems. Vol 9698. p969819. 2016

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡部健二 (WATABE KENJI)

大阪大学・医学部附属病院・准教授

研究者番号：50379244

(2) 研究分担者

辻井正彦 (TSUJII MASAHIKO)

大阪大学・医学系研究科・招へい教授

研究者番号：40303937

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし