

イレウスチューブを用いた小腸内圧の臨床計測

Clinical Measurement of Internal Pressure of Small Intestine using an Ileus Tube

長縄明大 (秋田大), ○永田啓介 (秋田大), 岡潔 (原子力機構)
 関健史 (原子力機構), 成田賢生 (藤田保健衛生大), 芳野純治 (藤田保健衛生大)
 Akihiro NAGANAWA and Keisuke NAGATA, Akita University
 Kiyoshi OKA and Takeshi SEKI, Japan Atomic Energy Agency
 Yasuki NARITA and Junji YOSHINO, Fujita Health University

Abstract: The internal pressure of digestive organs are measured for diagnosing functional diseases, judging the criticality of the condition, and deciding the treatment method or determining the degree of alleviation. The internal pressure of the small intestine has commonly been measured by the water perfusion method, but the measurement of only peristaltic movement has been performed by this method. Further, a method that entails passing CO₂ gas from the air suction port of the ileus tube to measure the internal pressure of the closed portion has been proposed. However, because of the action from the outside, it is difficult to determine the actual movement of the small intestine, and the patient burden is large. Therefore, we developed a method for measuring the internal pressure of the small intestine using the ileus tube and verified its underlying performance. Salient features of our method are that it enables measurement of all the various kinds of waves generated from movement of the small intestine, because the tube and balloon are in contact with each other and so on. In this study, measurements were performed in a clinical setting with healthy volunteers as subjects. We provide an overview of the measurement results in this paper.

Key Words: Medical Equipment, Measurement, Small Intestine, Ileus Tube, Internal Pressure

1. 諸言

消化管には、食道、胃、小腸、大腸などがあり、従来よりこれらの消化管において、機能的疾患の診断、重症度の判定、治療方針の決定や治療の判定などの目的で内圧計測が行われている。例えば、食道においては、カテーテル先端部などにトランスデューサを取り付け、内視鏡の鉗子孔から胃内にカテーテルを挿入した後、引き抜き法による内圧測定が行われている⁽¹⁾。一方、小腸では、water perfusionと呼ばれる方法で内圧計測が行われてきたが、腸管と挿入するカテーテルは直接接触しておらず、静止期から持続的な圧力変化に移行する際の波形を捉えて、蠕動運動を評価することが主目的であった⁽²⁾。また、癒着性イレウスにおける閉塞程度の定量化を目的とし、イレウスチューブを用いて吸引減圧を行った後、吸引口よりCO₂ガスを送気し、チューブ先端部より奥側の閉塞部位の内圧を測定する方法が提案されている。しかし、この方法では患者への苦痛や負担が大きく、また外部から送気的作用があるため、小腸の真の運動を明らかにすることは困難である⁽³⁾。

そこで著者らは、イレウスチューブのバルーンを用いた小腸内圧計測法を考案した*1。本手法では、すでに体内に挿入されているイレウスチューブにおいて、バルーン内に滅菌蒸留水（または空気）を注入するための一方弁に、圧力センサを取り付けることのみで計測する。これにより、(1) イレウスチューブに何ら改良を加えることなく、小腸内圧を計測できること、(2) CO₂ガス送気などの外部からの作用がないため、真の腸管運動を計測できること、(3) バルーンと腸管が直接接触するため、小腸運動のほぼ全ての波形を計測できる可能性があること、などの特徴がある。

本稿では、計測装置の概要と、健常ボランティアに対して行った臨床計測結果の概要について述べる。

2. 内圧計測装置

図1にイレウスチューブを用いた内圧計測の方法を示す。イレウスチューブは、腸閉塞の治療に用いられる医療用のチューブであり、その大きさは、メーカーにより差異はあるものの、おおむね直径が約6mm、長さが約3mである⁽⁴⁾。その先端部には、1つ、あるいは2つのバルーンと吸引側口が配置されており、腸内の拡張や内容物の吸引・排除を行うことで腸内を減圧し治療することができる。このチューブは、鼻から十二指腸まではバルーンを収縮させた状態で医師の手により挿入され、小腸では2つのバルーンに滅菌蒸留水を注入して膨らませ、小腸の蠕動運動を利用して挿入される。

本手法では、2つのバルーンを拡張する際に用いる一方弁に、圧力センサを取り付けることにより、腸管からバルーンにかかる圧力変化を計測する。ここで、本計測法は、絶対圧力ではなく、バルーンに注入される水量に応じて平衡となった圧力値を基準値とし、この基準値に対して加圧される相対圧力を計測する。圧力センサには半導体式のものを使用し、データロガーには市販製品を用いた。なお、サンプリング周期は0.1秒とした。

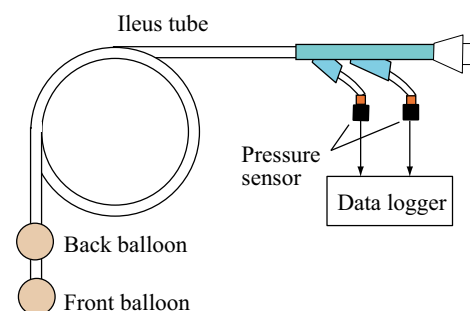


Fig. 1 Equipment for measuring the internal pressure of the small intestine.

*1 特許第 4934847 号

3. 基礎実験

イレウスチューブは、全長が約 3m で非常に長いので、バルーンが小腸により加圧され、一方弁に接続されたセンサが反応するまでの時間は、計測結果に影響を与えられと考えられる。そこで、加圧されてからセンサが反応するまでの時間の評価を行った。

図 2 に実験方法を示す。実験は、バルーン内に水を注入した後、コの字型のアルミ材の上に設置し、上方から手動でステップ状の負荷を与え、その際の過渡特性と整定性能の評価を行った。なお、負荷をかけた瞬間を把握するため、バルーンの上にアルミホイールをおき、また負荷もアルミ材を使用することで、接触した瞬間に電流が流れるようにして、トリガ信号を取得した。イレウスチューブには、クリエートメディック製親水性イレウスチューブ (16Fr) を使い、2つのバルーンに対して実験を行ったが、紙面の都合上、前方バルーンの結果のみを示す。

図 3 に実験結果を示す。本研究では、実験開始約 5 秒後に加圧して実験を行った。図より、加圧直後にトリガ信号は約 0V から -2.0 V に急速に変化し、ほぼステップ状の波形になっていることがわかる。このときの内圧計測の結果は、加圧後の遅れ時間はほとんどなく、立ち上がり時間 T_r (応答変化の 10% から 90% に至るまでの時間) は約 1.4 秒であった。さらに、約 2% のオーバーシュートが見られるものの、整定時間 T_s (応答変化の $\pm 2\%$ 以内に収まるまでの時間) は約 2.2 秒であった。この結果は、臨床実験で計測された結果から判断すると、非常に応答性が良く、計測法には問題がないものと考えられる。

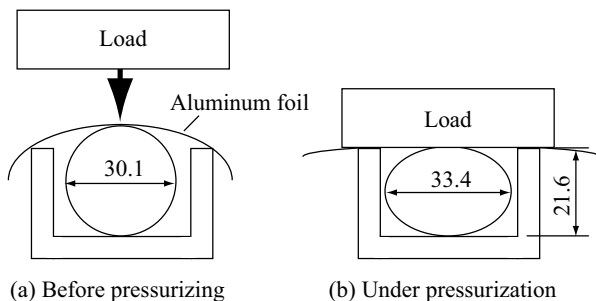


Fig. 2 Experimental equipment for investigation of sensor performance

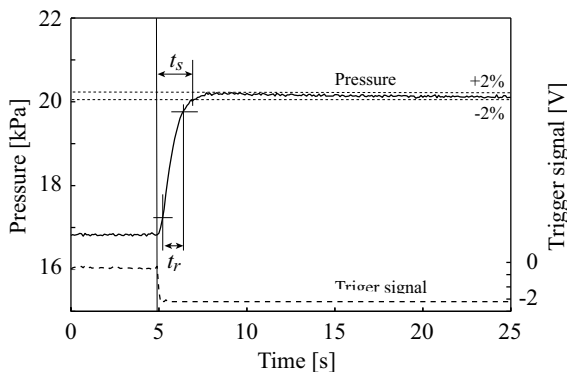


Fig. 3 Experimental result (front balloon)

4. 臨床計測

臨床計測は、インフォームドコンセントを実施した健康ボランティア男性 3 名に対して行った。

イレウスチューブには、クリエートメディック社製 16Fr 3000 mm ダブルバルーン型を用い、バルーンが Treitz 靱帯を超えたところで、前方バルーンには 20 ml、後方バルーンには 30 ml の蒸留水を注入した。

その後、約 1 時間の安静の後、前後方バルーンにつながる一方弁に圧力センサを取り付けて約 30 分間の内圧を計測した。なお、データ解析は、体動などのノイズを考慮し、15 分間のデータを用いて周波数分析を行った。その結果、以下の波形を確認することができた。

- 1) 3名の被験者とも、約 1 kPa 程度の振幅で、約 7.5 秒周期 (約 8 cycle/分) の律動的な圧力波形を観測した。
- 2) さらに、2名の被験者には、30~80 秒間で最大 1.5~2.0 kPa のゆっくりとした圧力変化が数回認められ、また後方バルーン (口側) から前方バルーン (肛門側) に伝播するようなパターンを示した。その伝播速度を計算したところ、0.4~1.5 cm/秒であった。

小腸運動は、自動運動 (分節運動と振子運動) と蠕動運動に分類される。今回観察された圧力波形のうち、1) は小腸における自動運動の波形と考えた⁽⁵⁾。また、小腸の蠕動運動の伝播速度は 1~2 cm/秒であり、このことから 2) の波形は蠕動運動の波形と考えた⁽⁶⁾。

5. 結言

本研究では、イレウスチューブを用いた小腸内圧計測装置の基礎性能を検証し、さらに健康ボランティアに対する臨床計測を行った。その結果、これまで観察されることがない波形を確認することができ、現在、得られた結果の詳細な解析を行っているところである。

謝辞

本研究の一部は、平成 24 年度 JST 知財活用促進ハイウェイ、大学特許価値向上支援 (試験研究費) の支援を受けて実施したものである。関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- (1) 佐藤, 宋, 大槻, 島中, 伊勢田, 安楽, 須田, 村山, 岩井, 田中, 武藤: 食道内圧測定における 3 チャンネルカテーテル圧トランスジューサの使用経験, 医療機器学, vol. 62, pp.70-71, 1992.
- (2) M. B. Hansen: Small Intestinal Manometry, Physiological Research, vol. 51, no. 6, pp.541-556, 2002.
- (3) 佐々部, 恩田, 田中, 横山: 癒着性イレウスにおける選択的小腸内圧測定の意義, 日本消化器外科学会雑誌, vol. 33, no. 8, pp.1473-1482, 2000.
- (4) 上泉: イレウスチューブ, 医学書院, 2004.
- (5) 大野, 黒澤, 高橋, 細谷, (共訳): トートラ 人体の構造と機能, 2008.
- (6) W. J. E. P. Lammers, B. Stephen and J. R. Slack: Similarities and Differences in the Propagation of Slow Waves and Peristaltic Waves, American Journal of Physiology, Gastrointestinal and Liver Physiology, vol. 283, no. 3, pp.G778-786, 2002.