ブタ大腸の破断強度の研究*

河村 勇太^{*1}, 苗村 潔^{*2}

Breaking Strength of Porcine Large Intestines

Yuta KAWAMURA and Kiyoshi NAEMURA^{*3}^{*3} School of Bioscience and Biotechnology, Tokyo University of Technology,
1404-1 Katakura-machi, Hachioji-shi, Tokyo, 192-0982 Japan

The colonoscope is widely employed for cure of a large intestinal disease. However, the medical accidents such as large intestines perforation by an immature doctor is still increase, because insertion operation of the colonoscope is highly skillful. To solve this problem, We think that development of a training device is effective. We aim to verify whether the porcine large intestines are able to become substitute as the human large intestines. The tensile experiment and the punch experiment were conducted on 243 samples of 14 pigs. The tensile experiment showed that stress at break was 0.20 ± 0.08 MPa, and strain at break was 0.51 ± 0.24 , and Young's modulus was 0.42 ± 0.22 MPa, and the poisson ratio was 0.71 ± 0.22 . Imitative endoscope extended the porcine large intestines forward perpendicular direction from the surface. The results showed the porcine large intestines were perforated by 11.9 ± 2.8 N. All results showed that porcine large intestines were able to become substitute of human large intestines.

Key Words: Medical Engineering, Biomechanics, Stress-Strain Measurement, Material Testing, Colonoscope, Large Intestines Perforation, Breaking Load

1. 緒 言

大腸癌患者には高齢者が多いため、体に負担の少ない内視鏡治療が求められている。大腸は S 状結腸という S 字状に彎曲し、体内で可動性に富む腸管などから構成される。医師は先端を屈曲させ、本体を捻ったりしながら内視鏡を大腸へ挿入する。挿入手技には熟練を要し、未熟な医師の操作によって大腸に過剰な負荷がかかり、大腸穿孔などの医療事故が後を絶たず、死亡事故も起きている⁽¹⁾。死亡事故の発生要因には、医師が穿孔に気づかず患者を放置してしまうことがある。既存の大腸内視鏡訓練装置には大腸穿孔が再現されていない。そこで、未熟な医師が大腸穿孔を体感できる訓練用装置の開発が有効であると考え、本研究では、ヒト大腸の代替としてのブタ大腸の有効性を引張試験と穿孔実験から検証することを目的とした。

2. ブタ大腸の前処理方法

食肉処理場より生後 6~7 ヶ月齢のブタ大腸を購入

* 原稿受付 2009 年 2 月 12 日.

^{*1} 学生員, 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科
(〒192-0982 八王子市片倉町 1404-1).

^{*2} 正員, 東京工科大学応用生物学部.
E-mail: nae@bs.teu.ac.jp

し、乾かないようにビニール袋、または発泡スチロール容器に入れて実験室まで搬送した。本実験では全て以下のように同様の前処理を施している。まず、余分な脂肪や腸間膜を除去して一本のヒモ状にした。次に肛門側から 200 mm 間隔に切り分けし、肛門からの距離が 400 mm から 1 600 mm までの部位を直腸側結腸、1 600 mm から 2 800 mm までの部位を中間部結腸、2 800 mm から 4 000 mm までの部位を盲腸側結腸とした。また、穿孔実験のように規格にはない実験を行うため、結腸ヒモを境に切り分けて 200 mm×30 mm の短冊状にし、襷のない状態に処理した。前処理を施した大腸は各部位毎にケースに入れ、濃度 0.9% の生理食塩水に浸漬して保存した。

3. 引 張 試 験

3・1 方法 大腸の固定は規格で決められた方法がないために試行錯誤の結果、大腸の両端を鉗子で固定する方法を採用した。鉗子による応力集中を防ぎ、大腸の水分を吸収して固定を確実にを行うために、鉗子と大腸との間に 70 mm×30 mm のダンボール紙を挟み込んだ。次に、大腸を固定した鉗子の取っ手を点滴スタンドに掛けて大腸を吊るした。もう一方の鉗子の取っ手に S 字状のフックの付いた錘を 0.1 kg ずつ吊

るしていき、初期長さ L_0 [mm]、幅 b_0 [mm] に対して、質量 m [kg] のときの重力方向の長さ L_1 [mm] と幅 b_1 [mm] を記録した。それぞれの荷重に対する伸びを正確に測定するため、鉗子に吊るす錘は重さを変えるごとに一旦外してから新たな重さの錘を加えるようにした。また、錘は鉗子に静かに吊るした。大腸の厚さが 1 mm 均一であると考え、応力 σ 、縦ひずみ ε 、横ひずみ $\varepsilon_{\perp}$ を求めた。また、 ε と $\varepsilon_{\perp}$ の比からポアソン比を算出した。

$$\sigma = \frac{mg}{b_0} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \dots\dots\dots (2)$$

$$\varepsilon_{\perp} = \frac{b_1 - b_0}{b_0} \dots\dots\dots (3)$$

3・2 結果 ブタ 3 頭分から切り出した 48 サンプルの大腸に対して引張試験を行ったときの破断応力は 0.20 ± 0.08 MPa であり、破断時のひずみは 0.51 ± 0.24 であった。また、応力 σ とひずみ ε の関係(図 1) から、ブタ大腸のヤング率は 0.42 ± 0.22 MPa であった。また、図 1 のように降伏点は確認出来なかった。ブタ大腸のポアソン比は 0.71 ± 0.22 であった。表 1、表 2 に直腸側、中間部、盲腸側結腸の部位別の破断応力、破断ひずみ、ヤング率、ポアソン比を示す。多重比較検定(Tukey-test)の結果、直腸側と中間部の破断応力値に $p < 0.05$ 、直腸側と盲腸側の破断応力値に $p < 0.01$ の有意差を認め、さらに中間部と盲腸側についてはヤング率においても $p < 0.05$ の有意差を認めた。

3・3 考察 山田ら⁽²⁾ は 70・80 歳代のヒト大腸の引張り強さは 0.33 MPa と報告しており、大腸の部位別についてみると上行結腸は 0.41 MPa、横行結腸は 0.33 MPa、下行結腸は 0.24 MPa であった。また、他の実験動物としてよく用いられるイヌの大腸の引張り強さは 0.91 MPa であった。本引張試験で得たブタの引張り強さは 0.20 MPa であった。これはイヌよりも

ブタの方がヒト大腸の代替と成り得ることを示しており、特にヒト大腸の下行結腸と同等の引張り強さであると言える。Viacheslav ら⁽³⁾ の報告によると、死体標本から得られたヒト大腸のヤング率は 0.50 MPa であった。ブタ大腸のヤング率がヒト大腸より小さい理由として、動物種の違いということの他にも被検体の成熟度の違いが考えられる。山田ら⁽²⁾ は老化と共に大腸の伸びも小さくなると報告している。Viacheslav らのヒトの被検体 46 例の平均年齢は 55 ± 8.5 歳であり、完熟に達していた。これに対し、本実験で用いたブタは平均 6~7 ヶ月齢であり、まだ完熟には達していない。また、大腸の保存法についても Viacheslav らの実験では、検死の前に 4°C で保存され、器官部分は洗浄された後に再び 4°C で生理食塩水に保たれていた。本実験では常温の生理食塩水で保存した。これらの被検体の完熟度や保存液の温度の違いが実験値に影響を及ぼしたものと考えられる。

4. 穿孔実験

4・1 方法 1 軸方向に移動する自動ステージ(SGSP 26-50, シグマ光機)の上に突き方向の軸力を計測する定格負荷 100 N の反力センサ(LMC-21023,

Table 1 Result of each part of tension experiment

	Stress at break [MPa]	Strain at break
Rectum side (15sample)	0.25 ± 0.08	0.47 ± 0.17
Intermediate part (19sample)	0.17 ± 0.08	0.47 ± 0.20
Caecum side (14sample)	0.15 ± 0.04	0.64 ± 0.31
All sample (48sample)	0.20 ± 0.08	0.52 ± 0.24

Table 2 Result of each part of tension experiment

	Young's modulus [MPa]	Poisson's ratio
Rectum side (15sample)	0.51 ± 0.21	0.78 ± 0.30
Intermediate part (19sample)	0.39 ± 0.24	0.60 ± 0.14
Caecum side (14sample)	0.27 ± 0.14	0.81 ± 0.14
All sample (48sample)	0.42 ± 0.22	0.71 ± 0.22

Fig. 1 One example of stress-strain measurement

Fig. 2 Experimental setup

日章電機)を固定した。反力センサにはドリルチャック(LF 10, ユキワ精工)を取り付け、実験に使用する模擬内視鏡を固定した(図2)。模擬内視鏡には直径10 mmの角を面取りしたアクリル円柱を使用した。大腸固定台の間隔を70 mmとし、大腸の両端を2つの鉗子で二重に交差するように把持固定した。鉗子と大腸との間に引張試験と同様にダンボール紙を挟み込んだ。ステージ移動速度を20 mm/sに設定し、初期位置から大腸穿孔するまで移動させ続け、破断確認後に初期位置へと戻した。サンプリング周波数を40 Hzとしてデータレコーダ(8807, 日置電機)に反力を記録した。穿孔破断したときの反力の値と、それを模擬内視鏡の断面積で割った値を求めた。

4・2 結果 ブタ8頭分から切り出した122サンプルの大腸に対して40から50 mmの伸展の後に穿孔した。穿孔破断値は 11.9 ± 2.8 Nであり、実測範囲は6.5 Nから18.6 Nであった。表3に穿孔破断値の部位別の比較を示す。多重比較検定の結果、統計学的な有意差は認められなかった。

4・3 考察 宇野ら⁽⁴⁾はヒト大腸の摘出標本に対して圧力強さを穿孔破断の測定を実施しており、内視鏡先端部の断面積からヒト大腸の破断応力を求めた。その結果、大腸内視鏡による応力範囲が0.29 MPa以上になると穿孔破断が起きる危険性が高いとしている。本実験で得た結果を模擬内視鏡の断面積(78.5 mm²)で割ると 0.15 ± 0.04 MPaであり、ヒト大腸の

Table 3 Result of each part of boring experiment

	Load at perforation [N]
Rectum side (47 sample)	12.2 ± 2.8
Intermediate part (45 sample)	11.3 ± 2.6
Caecum side (25 sample)	12.1 ± 2.7
All sample (122 sample)	11.9 ± 2.9

破断応力よりも小さい値となった。ヒト大腸よりも小さな負荷で破断を起こすことから、より効率的な技術向上にブタ大腸を用いることができると考える。

5. 結 語

大腸穿孔を体感できるような訓練用装置に用いるヒト大腸の代替としてブタ大腸の応用可能性を検証するため、引張試験と穿孔実験から引張り強さ、ヤング率などを求めて大腸強度の文献値と比較した。その結果、ブタ大腸はヒト大腸の代替物とすることで、より効果的な挿入練習が出来ることを示した。

本研究を進める上で、外科医である篠原一彦先生(東京工科大学)に御助言を頂いた。また、実験は石河剛史君、向井智将君の協力のもと実施した。

文 献

- (1) Kaneko, E., Harada, H., Kasugai, T., Ogoshi, K. and Tanba, H., The 4th nationwide investigation report concerning syndrome of happening by accident related to gastroenterological endoscopy—Five years from 1998 to 2002, *Gastroenterological Endoscopy*, Vol. 46, No. 1 (2004), pp. 54-61.
- (2) Yamada, H., Strength and aging of human body, *Japan Broadcasting Corporation*, (1979), pp. 108-116.
- (3) Egorov, V. I., Schastlivtsev, I. V., Prut, E. V., Baranov, A. O. and Turusov, R. A., Mechanical properties of the human gastrointestinal tract, *J. Biomech.*, Vol. 35, No. 10 (2002), pp. 1417-1425.
- (4) Uno, Y., Minute diameter colonoscope • Examination of safety of CF-SV, *Japanese Society of Medical Instrumentation*, Vol. 67, No. 7 (1997), pp. 289-292.