

## ヒトの腹部の柔らかさと呼吸性上下動の測定実験 Measurement of softness and up-and-down movement due to breathing of human abdomens

○佐々木 孝明, 井上 健司  
○Takaaki Sasaki, Kenji Inoue

山形大学  
Yamagata University

キーワード：腹部触診 (Abdominal palpation), 医療シミュレータ (Medical simulator),  
機械的性質 (Mechanical properties), 人体計測 (Human body measurement)

連絡先：〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16  
山形大学大学院理工学研究科応用生命システム工学専攻 井上健司  
TEL&FAX: 0238-26-3335, E-mail: inoue@yz.yamagata-u.ac.jp

### 1. はじめに

触診は、手で直接人体を触ったり押したりして、圧痛や腫瘍の有無を調べる診察方法である。なかでも腹部触診は、多くの消化器系疾患の初期診察として、重要な位置を占めている。腹部触診では、指先、指全体、手のひらを使うなど多種多様な手技が必要で、押す位置と押し込み量を適切に調整できること、柔らかさの変化や腫瘍の有無を手で感じとれることが重要となる。現在、触診訓練は人体を用いて行われているが、様々な症例・稀な症例が訓練できない、定量的な評価ができないといった問題点がある。

そこで我々は、ゴムシートを用いた腹部触診の訓練シミュレータを開発している[1,2]。このシミュレータは、腹部を模した構造を持ち、実際と同じように手で直接触ったり押したりして、症例に応じた柔らかさの変化や呼吸による上下動を感じる事ができる。内科医に実際の触診と同じように触ってもらった結果、人体と同程度の柔らかさが生成できているとの評価を得た。

本研究では、腹部触診訓練シミュレータの定量的評価に用いるため、ヒトの腹部の柔らかさと呼吸性上下動を測定する。ヒトが自然に呼吸しているときの柔らかさの変動を記録し、その特徴を明らかにする。

### 2. 腹部触診シミュレータの概要

開発中の腹部触診シミュレータを図1に示す。半楕円形状の胴体板 2 枚を平行に置き、その上に2枚のゴムシートを重ねてかぶせて腹部を模した構造を作る。下側シートを腹部の縦方向に引っ張ると、腹部形状を保ったまま下側シートの柔らかさが変化する。指先や

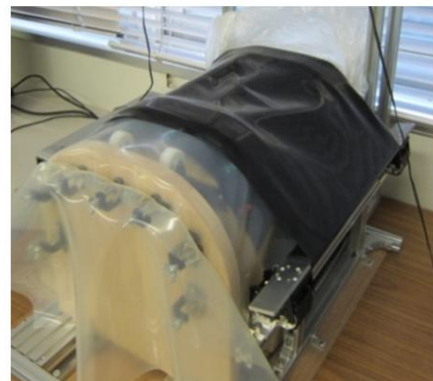
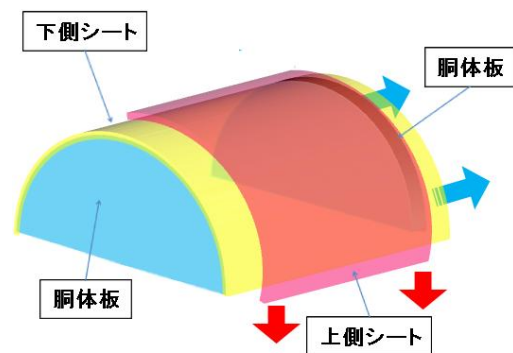


図1 腹部触診シミュレータ

指全体、手のひらで上側シートを押すと、下側シートによって変化した腹部の柔らかさを感じる。上側シートを胴回り方向に引っ張ると、上側シートが2枚の胴体板の間にくい込むように、鞍状に変形する。上側シートを緩める／引っ張ることで、呼吸性上下動を模擬できる。よって、実際の触診に近い訓練が可能となる。

### 3. ヒトの腹部の柔らかさと呼吸性上下動の測定実験

#### 3.1 測定目的

腹部触診訓練シミュレータは、ヒトの腹部の柔らかさや呼吸性上下動を模擬できることが重要である。ヒトは呼吸しているため、腹部の柔らかさは触診中も変動している。

そこで、シミュレータの定量的評価や柔らかさの変動の制御に応用するために、ヒトが自然に呼吸しているときの腹部の柔らかさの変動と上下動を測定する。

#### 3.2 測定装置と測定方法

腹部の柔らかさの測定装置を図2に示す。デジタルフォースゲージ（イマダ製 ZPS-DPU-20N, 分解能0.01[N], 最大荷重20[N]）を取り付けた手動ラボジャッキを門型フレームに固定する。ラボジャッキには、ノギス（分解能0.1[mm]）を取り付ける。被験者は、フォースゲージの下に横になる。ラボジャッキを手動で下ろし、フォースゲージを被験者の腹部に押し込む。押し込み力  $F$  [N] をフォースゲージで測定する。ラボジャッキの下降量をノギスで測定し、押し込み量  $d$  [mm] とする。押し込み力  $F$  と押し込み量  $d$  の関係が、柔らかさを表す。図3は、柔らかさ測定の様子を示している。

腹部上下動の測定装置を図4に示す。図2のラボジャッキに、スケール（最小目盛1[mm]）の付いたリニアガイドを取り付ける。被験者は、リニアガイドの下に横になる。リニアガイドは、先端が自重（96[g]）で被験者腹部に当たった状態になる。腹部の上下動に合わせてリニアガイドが上下するので、その様子をビデオに記録し、上下動の振幅  $w$  [mm] をスケールから読み取る。上下動測定の様子を図5に示す。

#### 3.3 測定内容

被験者は、21~25歳の成人男性8名である。各被験者に対して、以下の測定実験を行う。実験は全て無侵襲で、被験者はTシャツ等の

薄い衣服を着用している。被験者1名当たりの測定時間は、10分程度になる。被験者が痛みや圧迫感を訴えた場合、それ以上は押し込まない。最大押し込み力は20[N]とする。

- (1) 柔らかさ測定装置の下に、被験者に横になってもらう。フォースゲージ先端が臍の上になるように調整する。
- (2) 被験者に自然に呼吸してもらう。腹部が最も膨らんだ時にフォースゲージ先端が接触する状態になるまで、ラボジャッキを降ろす。このときの高さを押し込み量  $d$  の原点とする。
- (3) ラボジャッキを下降させ、フォースゲージ先端を腹部に押し付ける。被験者に自然に呼吸してもらい、押し込み力  $F$  の変動を測定する。押し込み量  $d=10, 20, 30, 40$  [mm] と変えて、測定を繰り返す。
- (4) 上下動測定装置の下に、被験者に横になってもらう。リニアガイド先端が臍の上になるように調整する。先端は、自重で被験者腹部に当たった状態になる。
- (5) 被験者に自然に呼吸してもらい、上下動を記録して振幅  $w$  を求める。

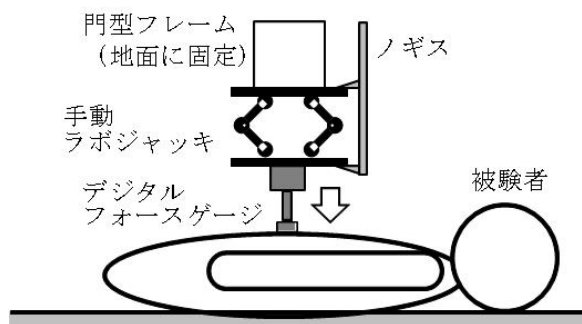


図2 腹部の柔らかさの測定装置

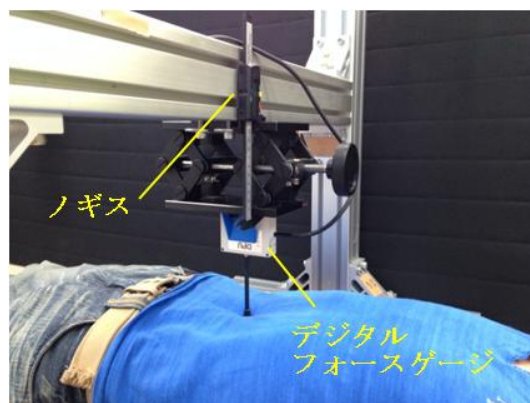


図3 柔らかさ測定の様子

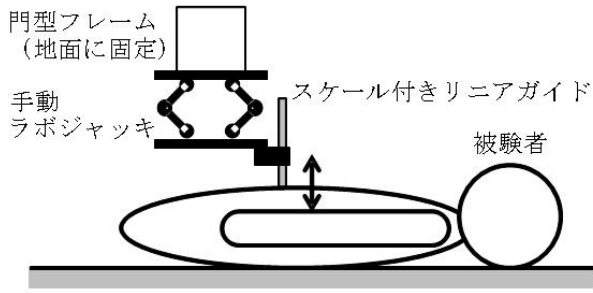


図4 腹部上下動の測定装置

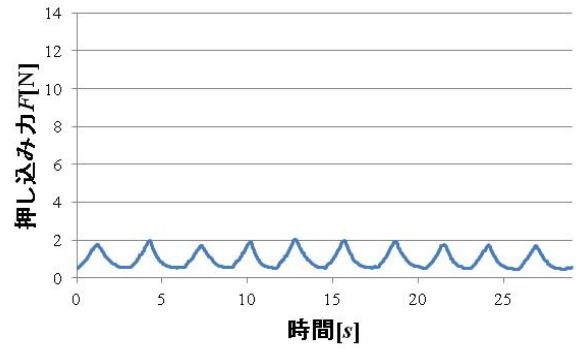


図5 上下動測定の様子

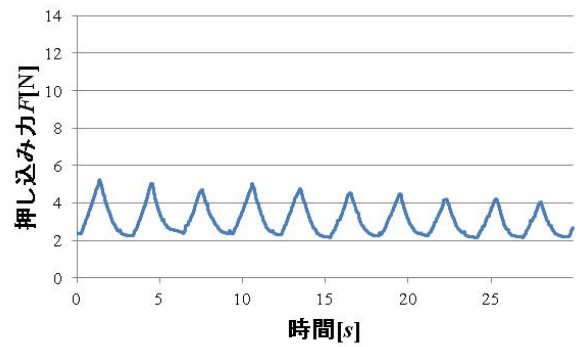
### 3.4 柔らかさの測定結果

ある被験者の柔らかさ測定の結果を図6に示す。図から、押し込み量  $d$  が一定の状態でも、押し込み力  $F$  は、呼吸に伴って周期的に変動していることがわかる。波形の山の部分は、息を吸いこんで腹部が膨らんだ状態に相当し、谷の部分は、息を吐いて腹部がへこんだ状態に相当する。息を吐いたときの押し込み力  $F$  がほぼ同じなのに対し、息を吸い込んだときの押し込み力  $F$  にはばらつきがある。これは、息を吸い込む量が毎回同じではないので、腹部の膨らみ具合が異なるためと考えられる。

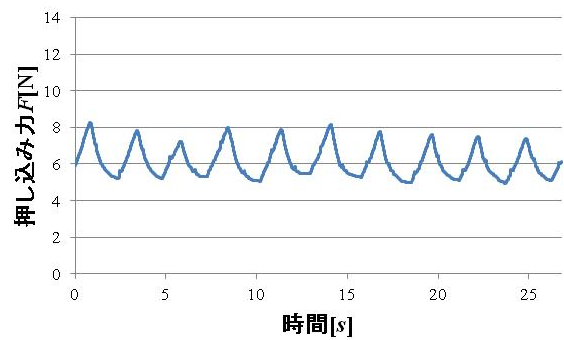
各波形について、谷の頂点の平均値を押し込み力の最小値  $F_{min}$  とし、最小値  $F_{min}$  と押し込み量  $d$  の関係を調べた。これを被験者8人分まとめたグラフが図7である。ここで、最小値  $F_{min}$  が存在しない場合があるのは、腹部がへこんだときにフォースゲージから離れてしまい、押し込み力  $F$  を測定できなかったためである。同様にして、山の頂点の平均値を押し込み力の最大値  $F_{max}$  とし、これらをまとめたグラフが図8である。図7、8のグラフは、上にいくほど腹部が硬く、下にいくほど柔らかいことを表している。各被験者の図7、図8のグラフの幅が、その被験者の腹部の柔らかさが変化した範囲になる。



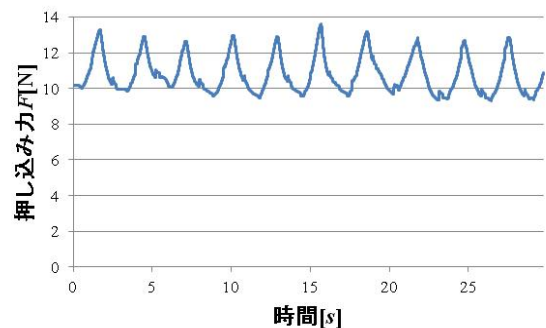
(a) 押し込み量  $d=10$ [mm]



(b) 押し込み量  $d=20$ [mm]



(c) 押し込み量  $d=30$ [mm]



(d) 押し込み量  $d=40$ [mm]

図6 被験者 No.6の腹部柔らかさの測定結果

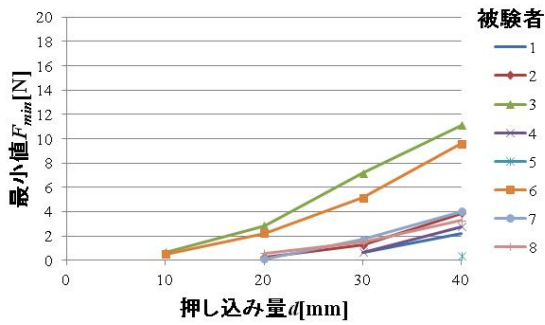


図7 押し込み力の最小値  $F_{min}$  と押し込み量  $d$  の関係

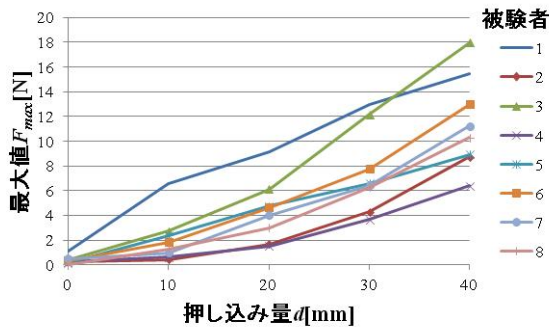


図8 押し込み力の最大値  $F_{max}$  と押し込み量  $d$  の関係

測定結果から、腹部の柔らかさには個人差があることが、定量的に確認された。図7は、押し込み力  $F$  の他に呼吸によって腹部がへこみ、フォースゲージが触れていない分も含まれるため、厳密な柔らかさを表してはいない。図8から、個人差により、腹部の柔らかさには、押し込み量  $d$  が 40[mm]のときの押し込み力の最大値  $F_{max}$  が 6.5~18.0[N]となる程度の違いがあることがわかった。

### 3.5 呼吸性上下動の測定結果

被験者8人の呼吸性上下動の振幅  $w$  を表1に示す。表から、振幅  $w$  は 5~18[mm]の個人差があった。

## 4. おわりに

ヒトの腹部の柔らかさと呼吸性上下動を測定し、腹部触診訓練シミュレータの設計や定量的評価に用いる具体的な数値が得られた。今後は、医師による評価と組み合わせてシミュレータの改良が必要か検討することと、シミュレータを制御して腹部の柔らかさの変動を模擬することである。

表1 呼吸性上下動の振幅  $w$

被験者No.	振幅 $w$ [mm]
1	18
2	16
3	5
4	9
5	18
6	8
7	7
8	10

## 参考文献

- [1] 氏家, 李, 井上: 腹部触診訓練を目的としたハプティックデバイスの設計, 第16回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.269-272, 2011.
- [2] K. Inoue, K. Ujiie, S. Lee: Development of haptic devices using flexible sheets for virtual training of abdominal palpation, Advanced Robotics, 28:20, pp.1331-1341, 2014.