

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：12201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560301

研究課題名(和文) 安定した円柱物体把持を可能とする母指の非対称構造の解明

研究課題名(英文) Study on asymmetric nature of thumbnail strain when grasping an object

研究代表者

嶋脇 聡 (Shimawaki, Satoshi)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10344904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、物体(円柱、球、平板)を把持した際の母指爪ひずみを計測し、橈尺方向に非対称なひずみ分布が発生するかどうか調査することであった。また、物体サイズと母指押し付け力の影響も調査した。母指爪表面の3箇所(中央、橈側、尺側)に2軸交叉ひずみゲージを貼付した。2軸交叉ひずみゲージの各軸は指軸方向と横断軸方向と一致させた。物体サイズが小さい場合、指軸および横断軸の両方のひずみ分布が非対称であったが、物体サイズが大きくなると、どちらかの軸のひずみ分布の非対称性が解消された。小さい物体を把持する場合、母指指腹部尺側面が主要な接触面であることが、橈尺方向に非対称なひずみ分布の要因であった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to measure thumbnail strain when grasping an object (cylinder, sphere, and flat plate) and to determine whether asymmetric strain distribution occurs in the radioulnar direction. In addition, we examined the effects of object size and thumb-pressing force. Biaxial strain gauges were attached at three locations on the thumbnail surface (central, radial, and ulnar parts). Each axis of the biaxial strain gauges was aligned to the axial and transverse directions, respectively. When object size was small, the distribution of strain in the axial and transverse directions was asymmetric; however, when object size became large, the asymmetric nature of the strain distribution in either one of the axes disappeared. When grasping a small object, the ulnar surface of the thumb pad is an important contact surface. This was the factor in asymmetric strain distribution occurring in the radioulnar direction.

研究分野：生体計測・福祉工学

キーワード：母指爪ひずみ 物体把持 物体操作 把持力 有限要素法

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、以前に、右母指爪の3箇所  
にひずみゲージを貼付し、平板を圧迫した際  
の爪ひずみを計測した(機論 C 編, 2006 ;  
*Skin Res Tech*, 2007). その結果, 図1に示  
すように, 橈側の横断軸方向ひずみは尺側の  
それより有意に大きかった. このように平板  
を圧迫した際に, 母指爪は左右(橈尺方向)  
で異なる変形をしていることが分かった. こ  
のことは母指(末節骨, pulp, 爪)の構造は  
左右で異なることを示唆している. これを裏  
付ける証拠として, Shrewsburyらは母指末節  
骨の非対称性を示しており, その要因は母指  
屈筋腱附着部の非対称性であるとしている  
(*Am J Phys Anthropol*, 2003). Almécijaらは,  
ヒト進化の過程において, 図2に示すよう  
な円柱物体把持における母指対立機構の有効  
性が母指屈筋腱附着部の非対称性などを促  
進させたと示した(*PLoS ONE*, 2010).

一方, 研究代表者は, 示指指尖部の変形に  
ついて実験的および数値的解析を行った. 実  
験的解析として, 平板圧迫時における示指指  
腹部の変形を CCD カメラで撮影(日本臨床  
バイオメカニクス学会誌, 2003), または変  
形させた状態で MRI にて撮影などである(機  
論 C 編, 2013). 数値的解析として, 指尖部  
を CT 撮影してモデル作成し, 有限要素法に  
て平板圧迫時の変形を解析した(*J Env Eng*,  
2007).

### 2. 研究の目的

本研究では, 物体を把持した際の母指爪お  
よび指腹部 pulp の変形を実験的および数値  
的に解析することを目的とした. これにより,  
母指の非対称性構造を解明する.

具体的には以下の項目を実施した.

- (i) 2軸交叉ひずみゲージを母指爪の3箇  
所(左, 右, 中央)に貼付して, 直径  
の異なる円柱および球体, 厚さの異な  
る平板を把持した際の爪ひずみを計測  
する.
- (ii) 2軸交差ひずみゲージを母指爪の3箇  
所に貼付して, 直径の異なる円柱を把  
持した状態で, 動的にスポンジを叩打  
した際の爪ひずみを計測する.
- (iii) 母指の CT および MRI 撮影より, 母指  
の有限要素モデルを作成し, 物体把持に  
おける指腹部(pulpを含む)および爪の  
変形を解析する.

### 3. 研究の方法

#### 3-1 物体把持時の爪ひずみ計測

(1) 被験者 被験者として, 右手の母指  
指節間関節(Interphalangeal joint, 以下 IP 関  
節)より遠位部位および爪に外傷や疾病が確  
認されない日本人男性 30 人(全員右利き)  
を選出した. 年齢は 20~26 歳, 平均身長は  
171.3±6.7cm(平均±標準偏差), 平均体重は  
64.6±10.0kg, 平均体脂肪率は 18.6±4.5%, 平  
均 BMI (body mass index) 値は 22.0±3.2 であっ

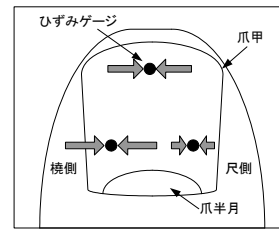


図1 平板圧迫時の爪ひずみ

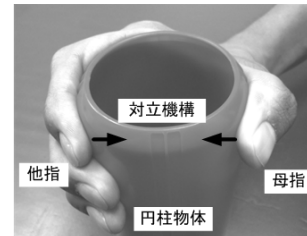


図2 母指の対立機構

た. 被験者母指爪の平均長さは 14.9±1.3mm,  
平均幅は 14.1±0.9mm, 平均厚さは 0.6±0.1mm  
であった. 平均手の長さ(手首皺から最も長  
い指の遠位端までの長さ)は 184.5±9.2mm,  
平均幅は 81.7±3.6mm であった. 母指, 示指,  
中指の平均長さ(各指の中手指節関節線から  
遠位端までの長さ)はそれぞれ, 73.4±7.4mm,  
73.6±7.1mm, 81.9±7.5mm であった. 本研  
究は, 宇都宮大学ヒトを対象とした倫理審査委  
員会の許可を得て実施された. 実験に先立ち,  
被験者に本研究の目的および内容を十分説  
明し, 被験者から同意を得た.

(2) ひずみ計測 図1に示すように, 2  
軸交叉ひずみゲージ(KFG-1-120-D16-23, 共  
和電業)を被験者の母指爪表面上に専用接着  
剤で貼付した. ひずみゲージのグリットサイ  
ズは幅 1.1mm, 長さ 1mm, であり, そのベース  
の直径は 5mm, 厚さは 13μm であった. 貼付  
前に, 被験者には爪の不要な部分を切除する  
ように依頼した. 貼付位置は, 遠位中央, 近  
位橈側, 近位尺側の3箇所で, 爪を橈尺方向  
に4等分し, 指軸方向に3等分した分割線  
の交点とした. 実験で使用した2軸交叉ひず  
みゲージは, 直交する2方向のひずみを同時  
に計測することができる. 貼付に際して, ひ  
ずみゲージの各軸は爪の指軸および横断軸と  
一致させた. ひずみゲージの出力は, ひずみ  
測定用インターフェース(センサイインターフェ  
イス PCD-300A, 共和電業)へ入力され, さ  
らにパーソナルコンピュータにて記録され  
た.

(3) 把持物体と計測方法 把持物体(材  
質: アクリル樹脂)の形状は, 円柱, 球, 平

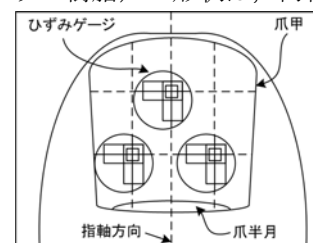


図3 2軸交叉ひずみゲージの貼付位置

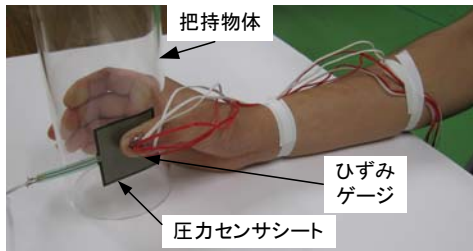


図4 物体把持時の爪ひずみの計測

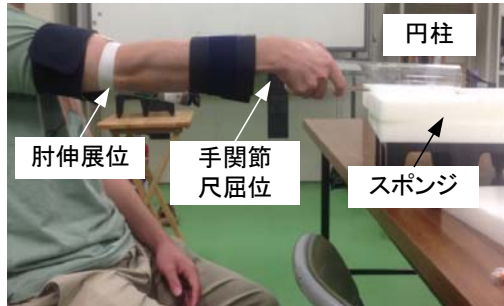


図5 叩打時の爪ひずみの計測

板の3種類であった。円柱直径は50, 60, 80, 100, 120mmとした。球直径は60, 100, 150, 200mmとした。平板厚さは1, 10, 50, 100mmとした。物体把持の際に、母指が他指と接触しないようにした。

母指IP関節遠位の指腹部と把持物体との間に圧力センサシート (FSR406, Interlink Electronics, 厚さ0.46mm) を挿入することによって、母指による押し付け力を計測した。押し付け力は、円柱把持の場合、10, 15, 20Nと、球および平板把持の場合、10Nとした。

計測姿勢は座位で、肘関節軽度屈曲位、前腕回旋中間位、手関節軽度伸展位とした(図4)。母指は他指との対立位とした。被験者には、把持物体を机の上に置いた状態で、それを把持するように指示した。よって、爪ひずみは把持物体の自重に影響されない。被験者には物体を把持した後に、規定の押し付け力を30秒間保持してもらい、その間の爪ひずみと押し付け力を計測した。サンプリング周波数は1000Hzであった。計測された30秒間のデータにおいて、安定した把持力で計測できた連続した10秒間について、各測定部位における指軸および横断軸の爪ひずみの平均値を算出した。各測定の間には3分間の休憩を設けた。

### 3-2 物体叩打時の爪ひずみ計測

(1) 被験者 被験者として、右手の母指IP関節より遠位部位および爪に外傷や疾病が確認されない日本人男性5人(全員右利き)を選出した。年齢は20~26歳、平均身長は175.4±3.7cm、平均体重は66.0±10.4kg、平均体脂肪率は15.9±3.4%であった。

(2) ひずみ計測 図3に示すように、2軸交叉ひずみゲージを被験者の母指爪表面上に専用接着剤で貼付した。

(3) 物体叩打と計測方法 把持物体(材

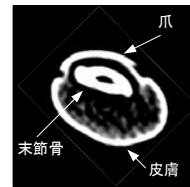


図6 母指のCT画像

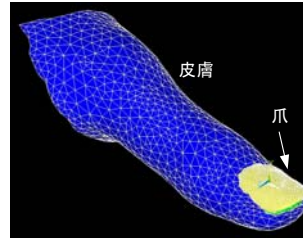


図7 母指の有限要素モデル

質: アクリル樹脂) の形状は円柱であった。円柱直径は50, 60, 80mmとした。母指IP関節遠位の指腹部と把持物体との間に圧力センサシートを挿入することによって、母指による押し付け力を計測した。

叩打するスポンジの形状は1辺30cmの正方形で、その厚さは6cmであった。スポンジは木製の机の上に置かれた。スポンジの素材は軟質ウレタンフォーム (EMM, イノアックコーポレーション) で、その硬さは225.6±39.2N、反発弾性45%以上であった。よって、叩打時に適度なスポンジの衝撃吸収により、手関節などへの衝撃反射は生じなかった。また、円柱がスポンジを叩打した際を特定するために、スポンジと机との間に圧力センサシートを挿入した。

計測姿勢は前腕回旋中間位で座位とした。スポンジを叩打した際、肘関節伸展位、手関節尺屈位となるように調整した。母指は他指との対立位とした(図5)。

### 3-3 母指変形の有限要素解析

(1) CT・MRI画像の取得 被験者は右母指のCM関節より遠位に外傷や疾病が確認されない22歳日本人男性で、身長178cm、体重60.5kg、体脂肪率10.6%であった。CT・MRI画像は被験者の指先からCM関節まで指軸方向に1mm間隔で撮影した。これにより、CTとMRI画像の撮影位置を一致させた。図6に示すように、爪をCTで撮影することはできないため、爪表面にヨード系造影剤を約2mmの厚さで塗布することで、爪輪郭を得た。

(2) モデル化 母指のCT画像から、末節骨、皮膚、爪の輪郭を抽出した。また、MRI画像からpulp部の輪郭を抽出した。これらのデータより、図7に示す有限要素モデルを作成した。

## 4. 研究成果

### 4-1 物体把持時の爪ひずみ計測

#### (1) 円柱把持における母指爪ひずみ

図8(a)に、各測定部位における円柱直径と

ひずみの関係を示す。エラーバーは標準誤差を示す。指軸方向において、直径 80mm 把持における橈側のひずみは 100mm および 120mm 把持におけるそれらより有意に大きかったが、尺側および中央の爪ひずみは円柱直径の変化に依存しなかった。全ての円柱把持において、橈側と尺側のひずみに有意差が確認された。橈側の爪ひずみは引張ひずみ（プラス値）であったが、尺側のそれは圧縮ひずみ（マイナス値）となり、非対称なひずみ分布であった。横断軸方向において、円柱直径が増加するに伴い、橈側および中央の爪ひずみは有意に減少したが、尺側の爪ひずみは円柱直径の変化に依存しなかった。直径 50～80mm の円柱において、橈側と尺側の爪ひずみの間に有意差が確認された。

(2) 球体把持における母指爪ひずみ

図 8 (b)に、各測定部位における球直径とひずみの関係を示す。指軸方向において、中央および橈側のひずみは球直径 150mm 把持において最も小さかったが、橈側の爪ひずみは球直径の変化に依存しなかった。直径 60mm と 100mm の球において、橈側と尺側のひずみに有意差が確認された。横断軸方向において、球直径が増加するに伴い、全ての部位の圧縮ひずみは有意に増加した。全ての直径の球において、橈側と尺側の爪ひずみの間に有意差が確認された。

(3) 平板把持における爪ひずみ

図 8 (c)に、各測定部位における平板厚さとひずみの関係を示す。指軸方向において、厚さの増加に伴い、中央の圧縮ひずみは増加し、橈側の引張ひずみは増加した。尺側の圧縮ひずみは減少した。

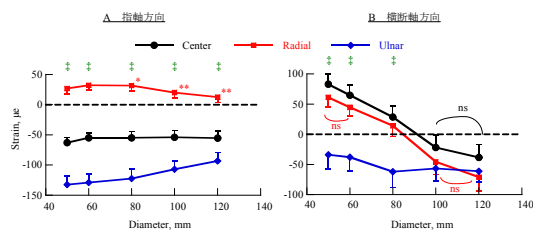


図 8 (a) 円柱直径と母指爪ひずみの関係

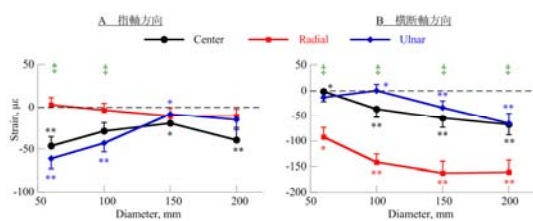


図 8 (b) 球体直径と母指爪ひずみの関係

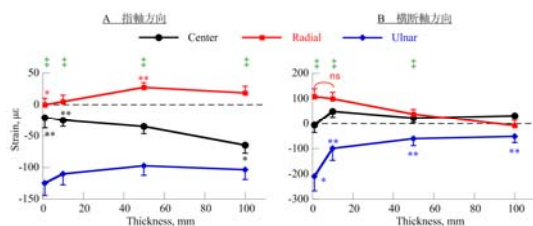


図 8 (c) 板厚さと母指爪ひずみの関係

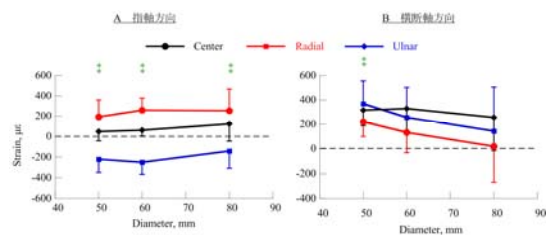


図 9 物体叩打時における円柱直径と母指爪ひずみ

ひずみは厚さの変化に依存しなかった。全ての厚さにおいて、橈側と尺側のひずみに有意差が確認された。横断軸方向において、厚さが増加するに伴い、橈側の引張ひずみは減少し、尺側の圧縮ひずみは減少した。厚さ 100mm の場合を除いて、橈側と尺側の爪ひずみの間に有意差が確認された。

4-2 物体叩打時の母指爪ひずみ計測

円柱がスポンジに衝突した瞬間に、爪ひずみに大きな変化が生じた。そこで、円柱で叩打した際の最大ひずみを算出した。

図 9に、各測定部位における円柱直径と最大ひずみの関係を示す。エラーバーは標準誤差を示す。指軸方向において、橈側と尺側のひずみに有意差が確認された。橈側の爪ひずみは引張ひずみ（プラス値）であったが、尺側のそれは圧縮ひずみ（マイナス値）となり、非対称なひずみ分布であった。この結果は、図 8 (a)に示した静的に円柱物体を把持した際の母指爪ひずみと同様な傾向であった。横断軸方向において、直径 50mm の円柱において、橈側と尺側の爪ひずみの間に有意差が確認された。

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 2 件)

- ① 嶋脇 聡, 中林 正隆, 物体把持における母指爪ひずみの非対称性—物体形状, 物体サイズ, 母指押し付け力の影響—, 人間工学, 査読有, Vol. 51, No. 6, 2015, pp. 420-427
- ② Satoshi Shimawaki, Atsushi Nakayama, Masataka Nakabayashi, Naotaka Sakai, Thumbnail strain during pressing and plucking of a string, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 査読有, Vol.10, No.3, 2015, <http://doi.org/10.1299/jbse.14-00316>

〔学会発表〕(計 3 件)

- ① 嶋脇 聡, 円柱物体把持における母指爪ひずみの非対称性, 第 28 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2016, No. 2G31
- ② 嶋脇 聡, 紺野 恭正, 中林 正隆, 酒井 直隆, 物体把持における母指爪変形ひずみの

計測, 第 27 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2015, pp.265-266

- ③ Satoshi Shimawaki, Yasumasa Konno: Thumbnail Strain in Grasping a Cylindrical Object - Effects of Object Size and Thumb Pressing Force, Conference Proceedings of 3rd International Scientific Conference on Engineering and Applied Sciences, 2015, pp.715-726

[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]

ホームページ等

<http://www.mech.utsunomiya-u.ac.jp/bioinstrumentation/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

嶋脇 聡 (SHIMAWAKI, Satoshi)  
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号 : 1 0 3 4 4 9 0 4

### (2) 研究分担者

酒井 直隆 (SAKAI, Naotaka)  
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号 : 9 0 2 3 5 1 1 9  
(平成 2 6 年度まで研究分担者)

### (3) 連携研究者

中林 正隆 (NAKABAYASHI, Masataka)  
宇都宮大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号 : 5 0 6 3 8 7 9 9

### (4) 研究協力者

田代 智哉 (TASHIRO, Tomoya)  
伊藤 康章 (ITO, Yasuaki)