

令和 2 年 9 月 9 日現在

機関番号：24506

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2019

課題番号：15KK0214

研究課題名（和文）人工肩関節にかかる力のワイヤレス計測（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Measurements of shoulder joint forces using total shoulder arthroplasty  
(Fostering Joint International Research)

研究代表者

比嘉 昌 (Higa, Masaru)

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90375197

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,400,000円

渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：通常的人工肩関節とは構造が異なるリバース型人工肩関節(Reverse Total Shoulder Arthroplasty: RTSA)を用いて、手術中に肩関節反力（関節しゅうどう面にかかる圧縮力）を計測するための装置開発と実測までを目標に研究を行った。ひずみゲージや磁気センサなど様々な素子を試したが、ここでは静電容量式の力計測を行う装置とした。研究機関の前半では設計と試作を中心に行い、その期間フロリダ大学で過ごした。その後は死体を用いた計測を行うため、整形外科医と協力しながら研究を進めていった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

RTSAは米国では2004年にFDAの認可を取得して使用が続いている。日本では2014年に使用が始まった比較的新しい人工関節である。そのRTSAを使用する整形外科医からの要望として、手術中の関節反力の値を知りたいという要望がある。国を問わず私が出会った全ての外科医が欲しいと言っていた。現状では最適（術後の臨床成績が良好な）値が分からないため、まず計測することで臨床的な問題点と関節反力との関係を明らかにすることに学術的な意義がある。そして手術後の臨床成績が向上すれば、それは患者への負担を減らすことにつながる。

研究成果の概要（英文）：Reverse total shoulder arthroplasty (RTSA) has been used to treat severe shoulder problems, especially for cuff tear arthropathy. Although soft tissue tension is thought to be an important factor in the clinical performance of RTSA, there have been no reports quantifying these forces intraoperatively. This study was aimed to develop a joint force sensor to tell surgeons about how much the soft tissue tension is. We have designed a disposal instrumented humeral liner, which is able to measure joint force, and used it with cadavers.

研究分野：生体医工学

キーワード：人工関節

## 1. 研究開始当初の背景

通常の人工肩関節(Total shoulder arthroplasty: TSA)とは構造が異なる、リバース型人工肩関節(Reverse Total Shoulder Arthroplasty: RTSA)が 2014 年に日本で認可され使用が開始された。アメリカでは 2004 年に FDA を取得して先行して使用されていたのだが、いずれにしても RTSA は新しい人工関節である。本研究は 2014 年から開始された基盤研究 C の発展であり、その基盤研究では、RTSA を利用した関節反力(肩甲骨と上腕骨の間の圧縮力)のワイヤレス計測を目標に掲げていた。研究開始時には以下のことがすでに完了していた。1. ワイヤ接続により RTSA 手術中関節反力を 22 人の患者において計測を行った。2. 計測の結果、上肢を下げた状態では平均 98N の関節反力を得た。3. 外転時、または屈曲時には関節反力は上昇したが、肩甲平面挙上時には大きな上昇は無かった。4. 医師からいくつかの feedback を得ていて最大の要求がワイヤレス化であった。そこで、本研究より前から開始している基盤研究 C ではワイヤレス計測を目標としたが、本研究ではその装置の開発と実用化までを目標に掲げた。2015 年の研究開始当時では日本国内での RTSA に関する情報は乏しかったこともあり、研究の一部をフロリダ大学にて行うこととした。

## 2. 研究の目的

本研究目的の一つ目は、人工肩関節の一つである Reverse Total Shoulder Arthroplasty (RTSA)の手術中に肩関節反力を計測すること、さらにそれを可能とする装置の開発。これは本研究より前から開始している基盤研究 C と同じ目的であり、ある程度進んだところからのスタートとなる。実際に計測可能な装置は既に存在していたが、手術室内でワイヤレスにて計測を行うことが最大の課題であったため、このような研究タイトルとしてワイヤレス化を目標に掲げた。もう一つは、その関節反力計測装置を、医師がいつでも使用可能とするよう簡便な装置へと改良することである。最初は研究として計測データを集めることを目指すが、将来的には研究者が計測するのではなく、手術中に医師が使用することを想定しているためである。

## 3. 研究の方法

既に膝では手術中に関節反力を計測する装置が商品化されている (OrthoSensor Inc.)。しかし膝は蝶番関節であるため、この装置は 1 方向の力を計測する装置である。これに対して肩関節・股関節は球関節であり、3 次元的な力がかかるため力の大きさと向きを計測する必要がありこのデザインを参考にすることは困難である。申請者が考案した球関節における 3 軸方向からの力計測原理を以下に説明する。1 軸力センサを互いに垂直に配置する。そのセンサは、面に垂直な力の成分のみを検出し面に平行な成分は滑ると仮定する。センサにそれぞれ番号をふり、角度を定義するとそれぞれのセンサにかかる力(それぞれのセンサからの出力)と力の 3 成分  $F(|F|, \theta, \phi)$  の関係は以下となる。角度の定義は、一般的な 3 次元極座標の定義に従うとする。

$$F1 = |F| \sin \theta$$

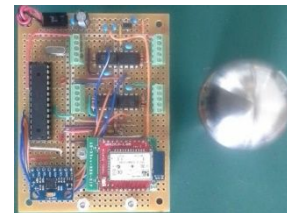
$$F2 = |F| \cos \theta \sin \phi$$

$$F3 = |F| \cos \theta \cos \phi$$

各センサの検出値は電氣的に出力されるため、規定の荷重を負荷してキャリブレーションを行った後、校正係数行列を求め上式の値にかけることにより未知の荷重値を算出可能となる [1]。

## 4. 研究成果

作成したセンサを用いて実験室にてキャリブレーションを行い精度を求めた。その結果、最大で約 8% のエラー値を得た。この値は既存の膝関節反力測定装置と比べてやや高い値となったが、使用には可能な範囲だと思われる。次に作成したセンサを死体に用いる試験を行った。通常の手術手技と同じ手順にて装置の使用が可能であった。死体を用いた関節反力の値は 100N 程度であった [2]。ワイヤレス化のためには、電子回路の小型化が課題となる。そこで、まずはブレッドボード用の電子回路素子を用いて回路を試作した図を右に示す。この回路にて動作の確認ができたため、今後はこれらの素子を表面実装用に置き換えて、基盤を自作する予定である。



1. Bergmann, G., et al., *Design and calibration of load sensing orthopaedic implants*. J Biomech Eng, 2008. **130**(2): p. 021009.
2. Higa, M., et al., *Instrumented Trial Prosthesis for Intraoperative Measurements of Joint Reaction Forces during Reverse Total Shoulder Arthroplasty*. Sensors and Materials, 2018. **30**(2): p. 1989-1996.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Masaru Higa, Chih-Chiang Chang, Christopher Roche, Aimee M. Struk, Kevin W. Farmer, Thomas W. Wright, and Scott A. Banks	4. 巻 30
2. 論文標題 An Instrumented Trial Prosthesis for Intraoperative Measurements of Joint Reaction Forces during Reverse Total Shoulder Arthroplasty	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 1989-1996
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM.2018.1940	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Nakayama H, Schrter S, Yamamoto C, Iseki T, Kanto R, Kurosaka K, Kambara S, Yoshiya S, Higa M	4. 巻 -
2. 論文標題 Large correction in opening wedge high tibial osteotomy with resultant joint-line obliquity induces excessive shear stress on the articular cartilage	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00167-017-4680-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hiroshi Ito, Toshiki Nakamura, Tatsuya Sato, Yasuhiro Nishida, Hiromasa Tanino and Masaru Higa	4. 巻 6
2. 論文標題 Early Deformation of Hip Articular Cartilage Under A High Load Before and After Labral Excision	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Arthritis	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4172/2167-7921.1000237	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小林慶弘, 大下寛人, 濱宏平, 比嘉昌	4. 巻 37
2. 論文標題 歩行時における歩隔の大きさが股関節荷重に与える影響	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 臨床バイオメカニクス	6. 最初と最後の頁 77-84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Masaru Higa, Nozomu Araki, Shintaro Nakatani and Hideki Toji
2. 発表標題 Two different measurements of Isometric Strength of Elbow Flexors
3. 学会等名 International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaru Higa, Hiroshi Nakayama, Shinichi Yoshiya
2. 発表標題 Numerical Analysis of the Knee Cartilage with Resultant Joint-Line Obliquity
3. 学会等名 International Society for Technology in Arthroplasty (ISTA) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 比嘉昌、船見和貴、持永和樹、平井裕介、中林直也
2. 発表標題 筋骨格モデルを用いた外力と関節間力の推定
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 船見 和貴, 比嘉 昌
2. 発表標題 筋骨格コンピュータシミュレーションによる歩行中の外力と関節反力の計算
3. 学会等名 日本機械学会 第29回バイオフィロントニア講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平井 裕介, 船見 和貴, 比嘉 昌
2. 発表標題 関節反力を計測するシステムの開発
3. 学会等名 日本機械学会 第29回バイオフィロントニア講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 比嘉昌, 中山寛, 吉矢晋一
2. 発表標題 高位脛骨骨切り術後に許容される膝関節傾斜角度の検討
3. 学会等名 第24回バイオメカニクスカンファレンス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 真鍋隆寛, 比嘉昌
2. 発表標題 有限要素解析を用いた人工股関節のステム形状の検討
3. 学会等名 日本機械学会第30回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 船見和貴, 持永和樹, 比嘉昌
2. 発表標題 歩隔を変化させる歩行が股関節に与える影響
3. 学会等名 第44回臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 比嘉昌、中山寛、吉矢晋一
2. 発表標題 高位脛骨骨切り術後の非生理的膝関節面傾斜における問題点 - 術後許容される膝関節面傾斜について -
3. 学会等名 第44回臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Manabe, Masaru Higa, Hiromasa Tanino
2. 発表標題 Effects of stem designs on subsidence and cement creeps
3. 学会等名 International Society for Technology in Arthroplasty (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yusuke Hirai, Takahiro Manabe, Naoya Nakabayashi, Masaru Higa
2. 発表標題 Development of a capacitive force sensor for artificial joint
3. 学会等名 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kobayashi, Yoshihiro; Oshita, Hiroto; Hama, Kohei; Higa, Masaru
2. 発表標題 Effects of varying step widths on hip torques and muscles during gait
3. 学会等名 XIV International Symposium on 3D Analysis of Human Movement (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Higa, T. Manabe, Y. Nakamura, H. Tanino
2. 発表標題 Effect of hip stem cross-sectional geometry on cement stresses
3. 学会等名 International Society for Technology in Arthroplasty (ISTA) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. Farmer, T. Wright, S. Banks, M. Higa
2. 発表標題 INTRA-OPERATIVE MEASUREMENTS OF GLENOHUMERAL CONTACT FORCES DURING REVERSE TOTAL SHOULDER ARTHROPLASTY
3. 学会等名 International Society for Technology in Arthroplasty (ISTA) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 真鍋隆寛、中村吉哉、比嘉昌
2. 発表標題 有限要素解析を用いた人工関節全置換術後の骨セメントのクリープ解析
3. 学会等名 第27回バイオフィロンティア講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小林慶弘、杜氏大介、船見和貴、比嘉昌
2. 発表標題 股関節荷重を減少させる最適歩行の検討
3. 学会等名 第27回バイオフィロンティア講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	B a n k s S c o t t  (Banks Scott)	フロリダ大学・Engineering・Mechanical and Aerospace	