T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	人工肘関節のバイオメカニクス -上肢作業時の筋力推定と骨組織の応力解析-
Title(English)	Biomechanical study of artificial elbow joints -Muscle force estimation and stress analysis of bone tissue in ADL-
著者(和文)	吉澤玄, 木村仁, 伊能教夫, 遠藤玄, 池田純, 稲垣克記
Authors(English)	Hikaru Yoshizawa, Hitoshi Kimura, Norio Inou, Gen Endo, Jun Ikeda, Katsunori Inagaki
出典(和文)	第27回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, , No. 14-67, pp. 37-38
Citation(English)	, , No. 14-67, pp. 37-38
発行日 / Pub. date	2015, 1

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

1A36

人工肘関節のバイオメカニクス
－上肢作業時の筋力推定と骨組織の応力解析－

Biomechanical study of artificial elbow joints
-Muscle force estimation and stress analysis of bone tissue in ADL-

学　○吉澤　玄（東工大）　正　木村　仁（東工大）　正　伊能　教夫（東工大）
正　遠藤　玄（東京医歯大）　非　池田　純（昭和大）　非　稲垣　克記（昭和大）

Hikaru YOSHIZAWA, Dept. of Mechanical and Control Engineering, Tokyo Institute of Technology
Hitoshi KIMURA, Dept. of Mechanical and Control Engineering, Tokyo Institute of Technology
Norio INOU, Dept. of Mechanical and Control Engineering, Tokyo Institute of Technology
Gen ENDO, Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University
Jun IKEDA, Dept. of Orthopedic Surgery, School of Medicine, Showa University
Katsunori INAGAKI, Dept. of Orthopedic Surgery, School of Medicine, Showa University

Key words :　Artificial elbow joint, Musculoskeletal system, Stress analysis, ADL

１．緒言

人工肘関節は関節リウマチなどの関節障害の患者に対し，運動機能改善や痛み緩和を目的として使用される．人工肘関節置換術では，肘関節周辺の骨の一部を切除して人工肘関節に置換する．その際に骨切除量や挿入角度，設置位置は医師の経験に基づき決定されており，バイオメカニクス的観点からの評価は十分に行われていない．

本研究では国内で最も使用頻度の高い Kudo 人工肘関節（図 1）を対象とし，人工関節のステム挿入箇所周辺の骨組織の応力状態を解析し，骨組織への影響を考察する．本稿では ADL（日常生活動作）を想定した動作で尺骨部の骨組織に生じる応力分布を中心に解析したことを報告する．

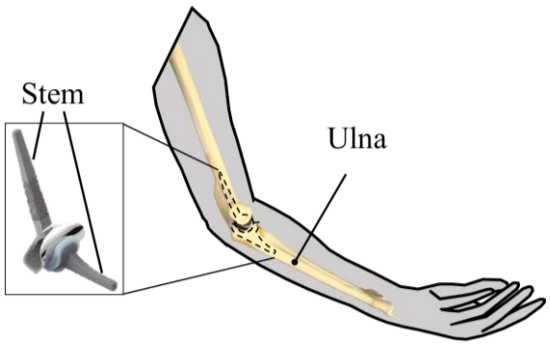

Fig.1　Kudo artificial elbow joint

２．腕の筋骨格モデル

人工肘関節を長期間使用するためには，ステム周辺の骨組織に過剰な応力が発生しないよう管理することが重要である．日常生活動作の中で作用する関節部の様々な力を解析するため，Bernard らの報告[1]を参考に骨の形状，物性，筋付着箇所を考慮した腕周りの力学モデルを設定した（図 2）．上腕筋，腕撓骨筋は上腕骨から前腕骨へと繋がっているため，図中のF_1とF_5の筋力のベクトル方向は肘の伸展により変化する．また，今回は日常生活動作として次の二つの動作(a), (b)を想定し，それぞれ荷重設定を行った．

動作(a)：ドアを押し開ける動作，身体後方へ$P_a = 30$ Nの荷重

動作(b)： 物を持つ動作，重力方向へ$P_b = 10$ Nの荷重

なお，それぞれに設定した荷重の大きさは (a)著者の所属研究室の入口ドアの開放に必要な力の測定 (b)医師の助言 に基づいて決定した．

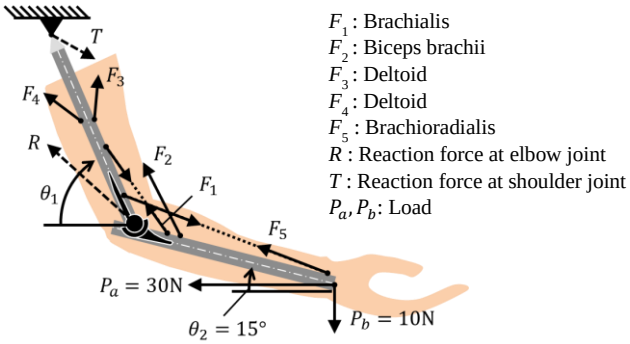

Fig.2　Musculoskeletal model for estimation of muscle forces and reaction forces on elbow joint

３．解析方法

3.1 筋力・関節反力の計算

図 2 のモデルを用いて肘関節にかかる力学状態を推定した．上腕と前腕の力およびトルクのつり合いより立式し，筋力・関節反力の計算を行う．この時，立式された式の数より設定する筋肉の数が多い場合は不定問題となり，つり合いの状態を一意には決定できない．そこで，筋力を測定する際に利用されている筋応力 2 乗和の最小化手法を導入して各筋力の推定値を決定した．この時，2 乗和の最小化は Lagrange の未定乗数法を用い，生理学的筋断面積(PCSA)は文献[2]を参考に設定した．

3.2 肘関節周辺応力解析

3.1 で得られた筋力の値を利用して肘関節周辺の応力解析を行う． CAD ソフト PTC Creo を用い，簡素化した尺骨の有限要素モデルを作成した（図 3）．過去の報告[3]で上腕骨側に比べて尺骨側の方がステムの骨組織への影響が大きいことが示されており，これを重点的に調査するため，今回はモデルに新たに骨セメント部と海綿骨部を加えて解析を行った．表 1 に解析に入力した各材料物性を示す．

Table 1　Material properties

	Young modulus [GPa]	Poisson's ratio	Mass density [g/cm^3]
Cortical bone	17.2	0.3	2.3
Cancellous bone	1.1	0.3	1.9
Bone cement	2.0	0.3	1.0
Artificial elbow joint	230	0.321	8.2

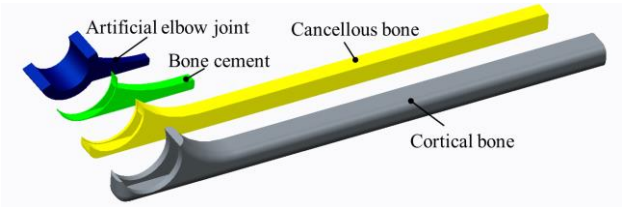

Fig.3 3D FE model of bone and artificial joint

4．解析結果

4.1 腕の姿勢と応力

図 4 に前述の力学モデルを用いて動作(a)について筋力・関節反力を算出した結果を示す．ただし，主要な筋であるF_1, F_2, F_5についてのみ図示している．θ_1が小さい時，すなわち肘が伸展している時により大きな関節反力が生じていることがわかる．

次にこの結果を利用して応力解析を行った．なお，動作(b)は過去の報告で特に高い応力が生じることが確認されている$90° < \theta_1 < 120°$の範囲で解析を行った．図 5 には動作(a)の$\theta_1 = 20°$の場合のコンター図を示す．ステム周辺組織である骨セメント，海綿骨に注目すると，ステム先端部付近に高い応力が生じている．これは人工肘関節を使用する患者においてゆるみの生じる箇所となる可能性がある．

上腕の姿勢角θ_1とステム先端周辺の骨セメント部，海綿骨部に生じる最大応力値の関係を動作(a)，(b)について，それぞれ図 6，7 に示す．いずれのグラフでも骨セメント部に大きな応力が生じている．図 6 の動作(a)の結果から，肘が伸展した状態で高い応力が生じることがわかる．また図 7 の動作(b)の結果から，θ_1が90°～120°の範囲で物を持つ動作では最大応力値に大きな変化がない．

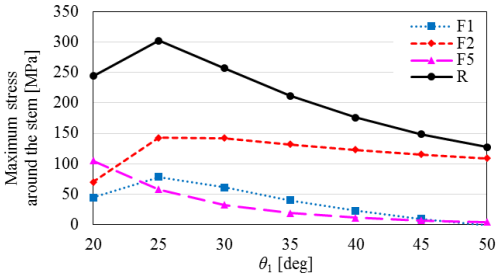

Fig.4 Reaction force R and muscular forces

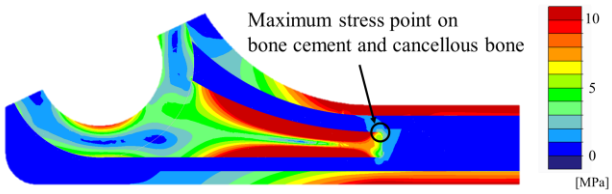

Fig.5 Stress distribution around the stem (action (a), $\theta_1 = 20°$)

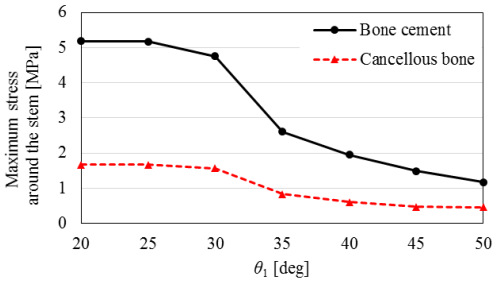

Fig.6 Stress transition for θ_1 in the action (a)

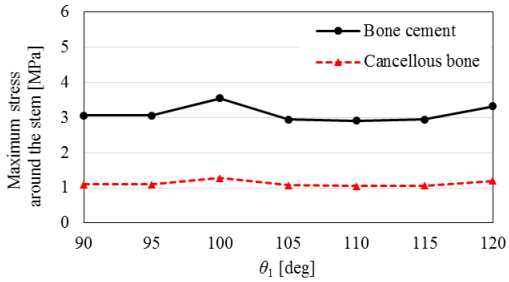

Fig.7 Stress transition for θ_1 in the action (b)

4.2 ステム挿入角度による影響

人工肘関節置換術の際にステムが骨に対して平行に挿入されない場合がある．そこで，ステムの挿入角度の差異による骨組織への影響を調べた．図 8 に示すようにステムの緻密骨に対する角度を挿入角度と定義する．この際動作(b)の荷重を設定，上腕の姿勢を$\theta_1 = 90°$（一定）として挿入角度を変えて応力を求めた．

図 9 にステム先端の骨セメント及び骨組織に生じる最大応力値を示す．今回設定した挿入角度の範囲では角度依存性は小さいという結果が得られた．今後，ステム先端が緻密骨に接触する場合などについても解析を行う予定である．

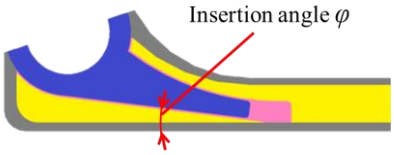

Fig.8 Definition of insertion angle φ

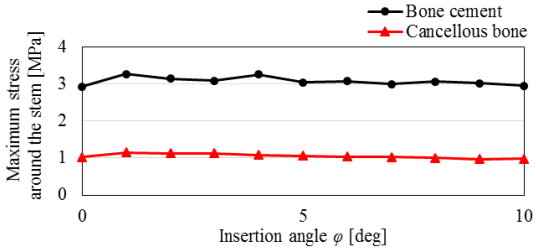

Fig.9 Relation between insertion angle and stress

5. 結言

日常生活の動作を想定した腕の筋骨格モデルを用いて人工肘関節部に生じる筋力・反力を算出した．この値に基づき尺骨の人工肘関節周辺の骨組織の応力状態を解析し，動作毎に発生する最大応力を調査した．また人工肘関節ステムの挿入角度が骨組織に及ぼす影響を調べた．

今後，筋力推定のより正確なシミュレーションを行うために筋骨格系シミュレーションソフト”The AnyBody Modeling System”を導入して解析する予定である．

参考文献

[1] Bernard F. Morrey，” THE ELBOW AND ITS DISORDERS”, SAUNDERS ELSEVIER，2009

[2] Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Science, “MotCo”,
Available from: http://biomed.bas.bg/en/projects/motco/

[3] 小山内泰亮，門脇廉，木村仁 ほか，”人工肘関節のバイオニクス –腕部の動的作用が与えるステム周辺の骨組織内部応力分布への影響-，第 24 回バイオフロンティア講演会講演論文集，p.103，2013