応力凍結法を用いた変形性股関節症と人工関節置換術に関する

力学特性と実験的評価

Mechanical Characteristic and Experimental Evaluation on Osteoarthritis of Hip joint
and Total Hip Replacement by Stress Freezing Method

○正 前崎 信孝 (芝浦工業大学・院) 正 江角 務 (芝浦工業大学)

蜂谷 将史 (横浜南共済病院)

Nobutaka MAEZAKI, Shibaura Institute of Technology, 3-7-5, Toyosu, Kouto-ku, Tokyo

Tsutomu EZUMI, Shibaura Institute of Technology

Masashi HACHIYA, Yokohama Minami Kyou Sai Hospital

Key Words : Experimental Stress Analysis, Biomechanics, Osteoarthritis of Hip Joint, Total Hip Replacement

1. 結 言

変形性股関節症(Osteoarthritis of Hip Joint : 股関節 OA)は、大腿骨骨頭や寛骨臼の関節軟骨が、変性や摩耗消失することによって発症する股関節疾患である。荷重部では、関節の運動や荷重などの機械的ストレスによって、寛骨臼蓋と大腿骨骨頭とが直接ぶつかり合う状態となる。大腿骨骨頭にも変形がみられ、表面には骨棘と呼ばれる凹凸が発生し、やがて偏平化していく。単徑部に慢性的な疼痛を伴い、股関節の可動域の減少や歩行困難となる⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

近年、末期の変形性股関節症に対して、全人工股関節置換術 (Total Hip Replacement : THR) が最良の治療法とされている。疼痛の除去や可動域の回復など、日常生活に差し支えない程の良好な臨床成績を上げている。しかし、術後に発症する合併症について解決するべき問題は多い。図 1(a)に変形性股関節症の X 線写真を、図 2 に THR ステムを示す。

本研究では、変形性股関節症について、片足立位時の健常者の股関節や股関節 OA 患者の股関節、THR を行った股関節を再現し、光弾性応力凍結法を用いて検討した。股関節 OA 患者の股関節では、偏平化した大腿骨骨頭により、特有の接触状態を呈する。また、THR は、特異点の位置や術後に発症する合併症について、緊急の解明が求められている。骨頭の形状変化や THR の合併症が、股関節に及ぼす力学状態を把握することは重要である。応力分布状態から、股関節 OA や THR の力学特性について検討を行った。

び大腿骨を対象に行った。股関節 OA では、寛骨臼蓋内と大腿骨骨頭表面に骨棘を再現した。THR ではステムとトリミングした大腿骨を再現した。同様に左右寛骨試験片モデル、仙骨試験片モデルからなる骨盤試験片モデルを作製し、右側大腿骨の試験片モデルした。図 2(A)に骨盤を、(B)に THR のステムを示す。

本研究では、生体の片足立位時における状態について実験を行った⁽¹⁾。実験に際し、骨盤試験片モデルと大腿骨試験片モデルを組み立て股関節の再現する。筋肉の再現では、スプリングを用いて中殿筋による引張り負荷を加えた。凍結荷重を負荷し、応力凍結終了後に、X-Y 軸に厚さ 5.5mm にスライスし、鏡面研磨を行った。図 4 に荷重装置を示し、図 5 にスライス方向と試験片を示す。

Fig.2 Model specimen

Fig.1 X ray photograph

2. 試験片モデルおよび実験方法

本研究では、実機材に医学生体骨格モデルを用い、股関節周辺の骨格に関する鋳型を作製した。供試材には、(ARALDITE B CT200 + HARDENER HT901 を重量比 100 : 30 で混合したエポキシ樹脂を選択した。ここで、変形性股関節症は左側寛骨に好発する症例がある。症例にしたがって、本研究では股関節 OA や THR の再現を、左側寛骨およ

Fig.3 Load device

Fig.4 Model slice

3. 実験結果および考察

X-Y 軸に関する股関節の応力状態について、図 5 OA 寛骨、図 6 に OA 大腿骨、図 7 に THR を示す。また、それぞれ、等色線しま写真、応力分布図の一例を示す。

図 5 の股関節 OA の寛骨では、臼蓋の下関節窩において圧縮応力の集中が認められ、ほぼ点接触状態であることが伺えた。偏平化により角張った大腿骨骨頭の形状変化や、関節軟骨も損失しており、高次の応力が集中したものと考えられる。寛骨全体では、恥骨結合周辺部が無応力状態であり、腸骨に応力が集中し、力学的負担が大きいことがわかる。したがって、腸骨周辺のみに応力が集中することから、力学的に不安定である。また、この応力状態は股関節痛、腰痛の発症原因と推察され、臨床的見解と一致を見た。

図 6(b) の OA 大腿骨では、骨頭部に圧縮応力の集中が見られた。健康大腿骨と同様に、頸部にもしみが発生するが、応力分布および応力値は骨頭部に顕著な集中が確認できた。また、このような応力状態の試験片は、数枚おきに確認された。よって、OA 状態の股関節では点接触であることがわかった。

図 7 () から、THR システムでは、曲げによる圧縮応力が顕著であることがわかった。ステムを生体骨に挿入する際は、体幹側に影響があることが伺える。また、ステムネックに圧縮と引張り応力が集中した。生体の大腿骨についても、圧縮応力により頸部に応力が集中するが、応力の集中箇所は、THR システムでも同様であることがわかった。一方、ネックの引張り応力は、近傍にある U 字切欠きによって、発生したものと考えられる。この切欠きは、ボルト穴である。本来システムは、ヘッド、ボディ、シャフトと分割されており、それぞれを締結するためにボルトを用いる。しかし、高次の応力が集中したことから、これらの締結方法に改善の余地があるものと伺えた。

図 8 では、等傾線から主応力線を得た。特異点はボルト穴近傍と、ステムが自家骨の被服が解かれる箇所を確認された。ボルト穴近傍の特異点は、ボルト穴が切欠き状を呈することと負荷を伴うため、複雑な主応力線を描いたと考えられる。一方、自家骨の被服が解かれる箇所の特異点では、非界面と界面の境をなす場所に発生した。この特異点から下部については、規則正しく安定した主応力線が描かれることがわかった。したがって、ステム挿入の際はできるだけ、自家骨の被服量を多くすることで、THR 術後の合併症を抑制できるのではないかと提言する。

4. 結 言

本研究では、変形性股関節症と全人工股関節置換術を取り上げ、三次元応力凍結法を適用し、健康股関節と変形性股関節における応力状態について調べた。実験的に検討を試みた結果、次の知見が得られた。

- (1) 変形性股関節の特徴である骨頭の偏平化により、骨頭に高次の応力集中が見られ、点接触状態を呈した。
- (2) THR システムにおいて、ボルト穴近傍に高次の応力が集中した。締結方法に改善の余地があるものと伺えた。
- (3) システム挿入の際はできるだけ、自家骨の被服量を多くすることで、THR 術後の合併症を抑制できるのではないかと提言する。

参考文献

- (1) 前崎信孝・江角務・蜂谷将史、応力凍結法による股関節症治療の術後経過に関する実験的検討、日本機械学会論文集 A 編、71-703(2005)、pp.500-506。
- (2) 蜂谷将史・藤井英世・山田勝久、先天性股脱遺残性亜脱臼に対する Salter 法・Pemberton 法、関節外科 18-2、(1999)、pp.109-115。

Fig. 5 Isochromatic fringe pattern and stress distribution chart

Fig. 6 Isochromatic fringe pattern and stress distribution chart

Fig. 7 Isochromatic fringe pattern and stress distribution chart

Fig. 8 principal stress line of THR stem

- (3) Charnley J, Low friction arthroplasty of hip, Springer-verlag, Berlin, Heiderberg, New york.