

Biomechanical analysis of lower limbs with hip arthroplasties using CT-based finite element method

アブドル ハリム, ビン アブドラ

<https://doi.org/10.15017/1654925>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 Abdul Halim Bin Abdullah (アブドル ハリム ビン アブドラ)

論 文 名 : Biomechanical analysis of lower limbs with hip arthroplasties using
CT-based finite element method
(CT 画像を利用した有限要素法による人工関節置換下肢の生体力学解析)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

現在の整形外科において、変形性関節症に罹患し末期的症状になった股関節に対する治療法としては、人工股関節置換術が股関節の機能を回復させるための唯一の方法である。人工股関節置換後は痛みも無くなり、股関節の動作も正常な状態とほとんど差がないほどに回復する。しかし、金属やセラミックスで造られた人工股関節は、骨よりも高い剛性を持つために、周辺の骨の応力状態は正常な股関節とは大きく異なることが想定される。このような剛性の不一致による骨の力学状態の変化は、たとえば力学刺激の低下による骨吸収や転倒時の骨折等の原因になることが知られているが、そのメカニズムについては不明な点が多い。一方、シミュレーション技術の発展により、CT 画像をもちいて複雑な構造と骨密度分布をもつ骨格の 3 次元数値モデルを構築することが可能になってきている。

本論文は、高齢の変形性関節症患者の下肢の CT 画像をもちいて、骨密度分布を考慮した人工股関節置換下肢モデルを作成し、人工股関節が両足の応力状態に及ぼす影響を検討している。また、骨リモデリング理論を導入した解析を行い、力学環境の変化による骨吸収のメカニズムについて考察している。さらに、大腿骨に人工股関節ステムのみを挿入したモデルを用いて損傷モデルを導入した骨折解析を行い、異なる境界条件が骨折形態に及ぼす影響について検討している。

1 章では、研究の背景と目的について述べている。まず、変形性股関節症について概説し、続いて人工股関節置換術の重要性と現状について説明している。さらに、人工股関節置換後の問題点として、歩行等の動作時に両足の力学的バランスが不均等になること、および転倒時等に骨折が生じやすくなるとともに、正常な大腿骨とは異なる骨折形態を生じることについて説明している。本研究は、このような背景の下、実際の高齢変形性関節症患者の CT 画像より下肢全体の数値モデルを構築し、人工股関節置換が下肢の力学状態に及ぼす影響を明らかにするとともに、人工関節周囲骨での

骨吸収状態を再現することを目的としている。さらに簡略化した人工股関節置換大腿骨モデルを用いて、境界条件を工夫することで異なる形態の人工股関節ステム周囲骨折を再現することを目的としている。

2章では、高齢変形性股関節症患者の下肢CT画像を用いて骨密度分布を考慮した3次元数値モデルの作成方法について詳細に説明し、単純な立位状態での応力状態を詳細に調べている。特にドラッガー・プラグー相当応力分布について調べた結果、変形性関節症に侵された左股の方に局所的に高い応力が発生していることを明らかにしている。

3章では、2章で作成した3次元下肢モデルの左股に2種類の人工股関節（全置換型と表面置換型）を置換したモデルを作成し、人工股関節が両股の応力状態に及ぼす影響について詳細に調べている。その結果、人工股関節を置換することで両股の応力状態が変化し、特に置換股の人工関節周囲で応力が低下するストレスシールド現象を確認している。また、全置換型より表面置換型の方が応力の低下がより大きいことを見出している。さらに、正常な右股においても、左股の人工関節置換の影響で応力が低下する現象が存在することを明らかにしている。

4章では、3章のモデルに対してひずみエネルギー密度を制御パラメータとする骨リモデリング理論を応用して5年間での骨吸収現象を模擬した解析を行っている。その結果、最初の1年間で骨吸収は進展し、その後力学的に安定することで骨吸収量が一定になっていくことを明らかにしている。人工関節を置換した左股の特に遠位部において著しく骨吸収が生じ、さらに骨吸収量は表面置換型よりも全置換型においてより大きいことを見出している。

5章では、左股の大腿骨のみをモデル化し、人工股関節ステムを挿入した置換モデルを用いて骨折解析を行っている。骨折は要素が引張りあるいは圧縮状態で臨界値に達すると力学的支持機能を失う損傷モデルを用いて再現している。転倒やねじり等を模擬した異なる境界条件を与えた結果、実際の臨床で観察される骨折形態のバンクーバー分類に対応する異なる骨折形態を再現することに成功している。

5章は総括であり、各解析から得られた重要事項について説明し、本研究のさらなる発展の可能性と今後の展開について説明している。