

博士學位論文

論文内容の要旨

および

論文審査の結果の要旨

東邦大学

前田隆浩より学位申請のため提出した論文の要旨

学位番号甲第782号

学位申請者 : 前 田 隆 浩

学位論文 : Finite element analysis of mechanical stress in a cementless tapered-wedge short stem in the varus position

(セメントレステーパーウェッジ型ショートステムの内反設置における機械的応力の有限要素解析)

著 者 : Takahiro Maeda, Osamu Obayashi, Muneaki Ishijima, Taichi Sato, Yoshiro Musha, Hiroyasu Ikegami

公表誌 : Journal of Orthopaedic Surgery and Research 19(1): 385, 2024
DOI: 10.1186/s13018-024-04856-z

論文内容の要旨 :

背景・目的 : 人工股関節全置換術 (Total hip arthroplasty: THA) で使用されるインプラントは様々存在する。その中で近年ショートステムの使用が増加している。その理由として、より多く骨温存ができ、近位側の荷重伝達が良好、手術侵襲の少なさ、前方系アプローチでの使いやすさ等が挙げられる。ステム設置後では荷重がステムを通じて大腿骨に伝達されるため、術後の大腿骨の応力分布は大きく変化する。THAにおいて術後早期より大腿骨近位部の骨密度が低下することが知られており、新たな荷重に適応するようにリモデリングが起こる。大腿骨近位部では応力が低値となり、骨萎縮が起こり、長期的には骨萎縮がインプラント周囲骨折を引き起こす可能性やステム不安定性に影響を与える可能性がある。ショートステムはスタンダードステムと比較し、近位側での応力の伝達がしやすいとされ、多くの術者が使用し良好な成績が報告されている。ショートステムの欠点とすればマルアライメントに挿入しやすい点である。ステム挿入に関しては骨軸に水平に挿入することが望ましい。しかしながら術者の技量、インプラントデザイン、アプローチ方法により内反、外反挿入されてしまうことがある。特にショートステムでは内反設置しやすく、ステム周囲骨反応も報告されている。ショートステムに関してどの程度の内反で応力伝達がどのように変化するのかを調べるため有限要素解析法を用いて研究を行った。本研究はステム内反角度の増加による大腿骨への応力を評価し、ステム周囲骨反応が起こり得る内反角度を調査することである。臨床例で内反1° 毎の症例を抽出することは困難であったため、

本研究では変形性股関節症と診断が付き、手術にまで至った症例の術前患側 CT 画像を用いて応力の変化を調査することとした。
対象・方法：変形性股関節症と診断され、人工関節置換術が行われた症例から Noble の Canal Flare Index に基づき、大腿骨タイプを 3 群 (champagne-flute 型 (Type A)、中間型 (Type B)、stovepipe 型 (Type C)) に分類しそれぞれ 10 例ずつ抽出した。有限要素解析は Mechanical Finder を使用し、抽出した症例の術前大腿骨 CT より 3D ボーンモデルを作成した。ステムは Taperloc microplasty を用い骨軸より 0-5 度まで 1 度ずつ内反させたモデルを作成し、片脚立位の荷重条件で Gruen の Zone 分類に基づき、7 つの Zone に区分し Volume of Interest を設定しそれぞれの相当応力の平均値を求めた。

結果：Zone2 で応力の減少、Zone3、4 で増加を有意に認め、過去の研究結果と同様に遠位での骨周囲反応が出現することを示唆していた。Zone2 では 3° 内反で全群有意に低下し、Zone3 では B 群で 3°、C 群で 4° から増加、Zone4 では A、B 群では 2° 以上の内反、C 群では 3° 以上の内反で有意な応力の増加を認めていた。

考察：本研究では Zone2 で応力の減少、Zone3、4 で増加を有意に認めており、諸家らの結果と同様に遠位での骨周囲反応が出現することを示唆していた。応力の平均値の比較において Zone2 では 3° 内反で全群有意に低下しており Engh 分類 grade 3 以上の stress shielding の出現の許容内反角度は 3° であることが予想された。また、Zone3 では TypeB で 3°、TypeC で 4° から増加、Zone4 では TypeA、B では 2° 以上の内反、TypeC では 3° 以上の内反で有意な応力の増加を認めていた。これは遠位での cortical hypertrophy の出現を示唆し髓腔形状が狭いほど許容範囲が狭く、髓腔形状が広いほど許容範囲が広いことを示していると思われる。また、ステムを骨軸と平行 (内反 0°) に挿入した場合、大腿骨タイプで応力の分布が異なるとの報告が散見され、特に champagne-flute 型、stovepipe 型では注意を要すと報告されている。本研究では各大腿骨タイプで応力分布に変化はなく、有意差はなかった。最も応力が高かったのは Zone4 であり、Zone2 と Zone6 から遠位にかけての応力分布に変化は見られず良好に遠位に荷重伝達がされていた。髓腔の違いによる応力分布の変化がない理由は、ステム形状が遠位固定を避けるために縮小構造となっており、ステムが遠位固定されていないため、様々な髓腔形状に適応し、応力を伝達するためと考えられる。本研究では適切なステムサイズが用いられたため、少なくとも術前計画で適切なサイズが選択され、ステムが骨軸に水平に挿入されれば、Taperloc microplasty はどのような髓腔形状にも対応し、応力をしっかりと遠位側に伝えることができると考えられた。

結論：多くの研究では、画像検査で骨周囲反応が出現した内反症例群での群間評価のみで、内反角度を調査した研究は乏し得た限りなかった。本研究では、内反 3° 以上で Gruen 分類 Zone2 の内反角度増加に伴う応力低下を示し、stress shielding の Engh 分類 grade3 の出現、Zone3、4 では応力増加を示し cortical hypertrophy の出現を示唆した。髓腔が狭い Type A では内反 2° 以上で遠位に有意な応力増加を認め、より慎重にステムを挿入する必要があると考えられた。また、Taperloc microplasty は中間位にステムを挿入すれば、あらゆる大腿骨の髓腔形状でも遠位への良好な荷重伝達が可能と考えられた。

1. 学位審査の要旨および担当者

学位番号甲第 782 号	氏 名	前 田 隆 浩
学位審査担当者	主 査	高 橋 寛
	副 査	中 川 晃 一
	副 査	亀 田 秀 人
	副 査	荻 野 晶 弘
	副 査	関 戸 哲 利

学位論文の審査結果の要旨 :

テーパーウェッジ型ショートステムの内反設置における有限要素法を用いた力学的評価の検討を行った論文である。近年、人工股関節置換術において骨温存や筋腱温存が可能であるため前方アプローチが頻用されるようになってきた。前方アプローチでは、ショートステムが多く使用されるが、手術手技により、ステムが内反設置されることがある。内反設置は臨床問題になることはないとの報告があるが、stress shieldings (SS) やcortical hypertrophy (CH) の発生が増加するとの報告もある。そこで申請者らは、内反挿入角度の許容範囲を検討するべく有限要素解析法を用いて評価・検討を行なった。

変形性股関節症に対して人工関節置換術が行われた症例から Noble の Canal Flare Index に基づき、大腿骨タイプを 3 群 (champagne-flute 型 (A 群)、中間型 (B 群)、stovepipe 型 (C 群)) に分類しそれぞれ 10 例ずつ抽出した。A 群にのみ男性が 2 例含まれていたが、この 2 例を除外して女性のみでの検討とした。有限要素解析は Mechanical Finder を使用し、抽出した症例の術前大腿骨 CT より 3D ボーンモデルを作成した。ステムは骨軸より 0-5 度まで 1 度ずつ内反させたモデルを作成し、片脚立位の荷重条件で Gruen の Zone 分類に基づき、7 つの Zone に区分し Volume of Interest (VOI) を設定しそれぞれの相当応力の平均値を求めた。

その結果、Zone2 で応力の減少、Zone3、4 で増加を有意に認め、諸家らの報告と同様に遠位での骨周囲反応が出現していた。Zone2 では 3° 内反で全群有意に低下し、Zone3 では B 群で 3°、C 群で 4° から増加、Zone4 では A、B 群では 2° 以上の内反、C 群では 3° 以上の内反で有意な応力の増加を認めていた。

以上から Zone2 では Engh 分類 3 度以上の SS の出現の許容内反角度は 3° であることが予想された。

Zone3、4 では 髄腔形状が狭いほどより CH が出現を示唆し、髄腔が広くなるにつれその許容範囲が拡大していると思われた。

まとめると、おおよそ内反 3° 以上の挿入において応力が有意に増減するため 3° 以上の内反設置症例に関しては長期的な経過観察が必要と思われた。

学位審査会では、論文要旨の発表の後、審査委員から「手術の際に正確にステムを挿入するための工夫」、「この論文の結果は、他の機種にも有効であるのか」、「Zone4 よりも遠位の評価は不要であるのか」等々の質問がされたが、申請者は現在までに報告されている知見、研究結果と合わせて理論的かつ明瞭に回答した。

最後に、専門分野である整形外科の専門知識についても質問されたが明瞭に回答した。

学位審査会では、審査委員全員一致で学位に値する論文であると評価した。