

第二次審査（論文公開審査）結果の要旨

Stress analysis of the proximal tibia using finite element method after unicompartmental knee arthroplasty

有限要素法を用いた単顆人工膝関節置換術後の脛骨近位部応力解析

日本医科大学大学院医学研究科 整形外科学分野

大学院生 佐野 みほろ

Journal of Nippon Medical School 第 87 巻 第 5 号 掲載予定

DOI: 10.1272/jnms.JNMS.2020_87-504

有限要素解析は整形外科分野において人工関節の開発のために先進的に用いられてきた。UKA 後の脛骨近位部応力解析についても報告がなされているがいずれも脛骨近位部の海綿骨を均一材料と仮定したものであり最適化したモデルではない。

そこで本研究の目的は脛骨近位部の海綿骨を不均一で異方性の物質であると仮定し、インプラントの 2 つのタイプ、術後アライメント、脛骨の被覆、脛骨の骨切りレベルについて調べることであった。

負荷のかかった状態での脛骨近位部の応力分布を調査するために二次元有限要素解析を行った。矯正不足による内反アライメント、中間位の中間アライメント、過矯正による外反アライメントを設定した。安定性良好なインプラントを想定した強固な境界面の線形解析と loosening を想定しギャップ要素を適用した非線形モデル解析を行った。物質特性は海綿骨: 300-3,000MPa、皮質骨: 15,000MPa、UHMWPE: 500MPa、Co-Cr-Mo: 200,000MPa とした。非線形モデルにおいて、モデルの安定性（ヤング率は 10-6Mpa）のための二つのトラス要素は、解析の分散を避けるために脛骨の内側端と外側端にとった。ギャップ要素の摩擦係数は 0 でヤング係数は 6-10MPa とした。

内反アライメントでは、高い応力と大きなゆがみがインプラントの下に観察された。そして、この傾向は総 UHMWPE タイプにおいてより顕著であった。外反アライメントでは応力集中は脛骨トレイの外側部に見られ、この傾向は非線形モデルにおいて、顕著であった。スタンダードモデルと比較し、被覆の狭いモデルにおいて応力集中は内顆の内側縁に認められた。低い骨切りレベルのスタンダードモデルと比較し、このモデルでの応力分布はスタンダードモデルにおける応力分布と著しく異なることはなかった。全ての総 UHMWPE タイプの UKA において、メタルバックタイプに比べて、どのアライメントにおいても応力がペグ周囲に見られた。Loosening のあるモデルにおいて応力はペグの内側、脛骨トレイの外側部、

両方に認められ、中央部の応力は減じていた。狭い被覆の UKA、低い骨切りレベルでの UKA では、応力は内顆の内側縁で高かった。

有限要素法は許容されうる誤差範囲の推測のためにインプラントの機械的問題やその固定メカニズムなどを予測するのに有効である。本研究結果では矯正不足はニュートラルアライメントに比較して海綿骨により多くの応力集中がかかり、また、過矯正は脛骨高位と脛骨トレイの外側部の下部の骨密度の低い骨に応力が増えた。これらの発見は臨床結果に反映されている。応力集中が内顆内側縁で認められたことから皮質骨に近い骨切りラインは皮質骨周囲の海綿骨において応力集中を引き起こすことを示唆している。それゆえ、UKA においても TKA と同様に最大限に骨を残すことが推奨される。Loosening モデルにおいて応力集中はペグの内側と、脛骨トレイの外側部に見られ、この結果は一度 loosening が起きると loosening と骨破壊がこれらの部位から広がることを示唆している。また、メタルバックインプラントは、総 UHMWPE インプラントより応力分布の面で優れている。UKA においては、適切な術後アライメントが重要であり、骨切りは関節ラインに近い海綿骨に設定し多くの骨を残すべきであると結論した。

第二次審査にて、UKA と TKA における脛骨インプラント設置アライメントの臨床的意義の違い、骨モデルにおける個体差、臨床応用、今後の研究の発展性について幅広い質疑が行われたが、いずれも的確な回答がなされ、申請者は本研究に関する十分な知識を有していることが理解された。

以上より、本論文は学位論文として価値あるものと認定された。