

氏名（本籍）	竹橋 広倫		
学位の種類	博士（医学）		
学位記番号	博甲第	9942	号
学位授与年月	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	人間総合科学研究科		
学位論文題目	熱弾性応力測定法および有限要素解析における大腿骨応力分布と術後骨反応の関連性の検討		
主査	筑波大学教授	博士（医学）	羽田 康司
副査	筑波大学准教授	博士（医学）	鈴木 浩明
副査	筑波大学講師	博士（医学）	岡本 嘉一
副査	筑波大学助教	博士（医学）	川西 邦夫

論文の内容の要旨

竹橋広倫氏の博士学位論文は、増加傾向にある人工股関節全置換術の長期成績向上を課題とし、ステムを挿入した大腿骨への応力分布や手術後の応力分布と骨粗鬆症などの術後反応との関係について検討したものである。その要旨は以下のとおりである。

第 1 章では、著者は本論文の研究背景として、変形性股関節症の病態と人工股関節全置換術（total hip arthroplasty 以下 THA）の適応を明らかにした上で、平均寿命の延長や若年層への手術適応拡大に伴う THA 対象症例の増加などの社会的背景について述べ、長期成績向上を目的としたアプローチの重要性について言及している。続いて、手術の実際と術後経過における問題点（骨反応と骨萎縮）について述べ、特に骨萎縮の低減が長期成績向上において重要であると明らかにしている。そして骨への応力測定に関する先行研究と本研究における二つの応力計測法（熱弾性応力測定法と有限要素法）について述べている。

第 2 章では、著者は本論文における研究の目的を、「熱弾性応力測定法と有限要素法における模擬骨での応力分布の比較」および「臨床例における有限要素法と骨反応の相関性の検討」であることを明確にしている。

第 3 章では、著者は熱弾性応力測定法と有限要素法という二つの方法でステムを挿入した模擬骨の応力分布を比較する実験方法や、実際に使用する人工関節システム（Polarstem）および実験結果について詳細に述べている。実験結果として、熱弾性応力測定法による応力計測では、内側近位部に圧縮領域が、外側に引張り領域が分布し、内側の最近位部には主応力和変化は計測されず、大腿骨近位前方に局所的な圧縮領域が存在し、近位後方には骨切り部直下にも圧縮応力が分布していることを明らかにしている。有限要素法による応力計測では、内側に圧縮応力が分布し、遠位にむけなだらかに減少し、内側の最近位

部には応力は認めず、外側には引張り領域が分布していたが内側の圧縮領域に比べ応力分布はより局所的であり、大腿骨近位前方および近位後方には応力の分布は認めなかったことを明らかにしている。著者は熱弾性応力測定法と有限要素法によるステム周囲の応力分布は類似した結果であり、内側には最小主応力である圧縮応力が、外側には最大主応力と変化である引張り応力が分布していた反面、ステム近位前方における圧縮応力の存在の有無が異なり、その理由として実際の力学実験における熱弾性応力測定法と、シミュレーションである有限要素法との違いによるものであり、熱弾性応力測定法は有限要素法以上に細やかな応力の算出が可能であると考察している。

第4章では、著者は臨床例における有限要素法と骨反応の相関性について検討した結果について述べている。筑波大学附属病院で2017年から2019年にTHAを行った患者のうち、1年以上の経過観察が可能であり、ステム周囲の骨塩定量検査の測定が可能であった13関節を対象とし、術後1週および術後1年での経過観察時に撮影された股関節正面X線を使用してステムの沈下の有無や骨反応を評価するとともに、術後1週と術後1年での骨密度を計測している。また術後1週に撮影したCTデータをもとに有限要素法により、ステム周囲を7領域に分割し、それぞれの平均相当応力を算出している。そして著者は術後1週後のCTから算出した相当応力分布と1年後の骨密度変化の相関性を検討するために単回帰分析を行っている。結果として著者は、大腿骨最近位部の外側で10.5%、内側で25.5%と強い骨萎縮を認め、これらの部位は有限要素法による応力分布を算出した際の低応力領域と一致し、骨密度変化率と相当応力との相関性を検討したところ、術後1年における骨密度変化率と術後1週での相当応力との間に有意な相関関係を認めている。これらの結果について著者は、内側骨皮質に観察された術後1年の骨密度の低下は従来のステム(taper wedge stem)での先行研究と同様の結果であり、本研究で用いたPolarstemは術後1年のstress shieldingの程度は軽かったものの従来のtaper wedge stemと同等の骨密度の変化をきたしたものと考察している。

第5章では、大腿骨近位部では他の機種と同様に骨密度の低下が生じていたとする本研究における結果について、生理的な応力分布とは異なり大腿骨近位部における応力の低下が一つの原因と考察している。また筆者は、術後1週時点で応力がより大きい部位では1年後の骨密度は増加し、術後1週での応力が小さいと骨密度は低下していたことから、術後1週のCTデータを用いて各領域の相当応力を算出することにより、将来の骨密度および骨萎縮の予測が可能であると考察している。

第6章では、著者は本研究の限界について述べている。荷重条件に関しては、筆者は実際の股関節には垂直荷重だけでなく歩行周期に応じた多方向からの荷重や回旋力が加わるだけでなく、個体における体重や筋力の差による関節合力の違いも応力分布には影響すると考えている。また患者背景に関しては、副腎皮質ホルモン製剤の使用状況や使用時期については条件を統一できず、術後の骨反応や骨密度変化にも影響を及ぼした可能性があるかと筆者は考えている。

第7章では、模擬大腿骨における熱弾性応力測定法と有限要素法の解析では、熱弾性応力測定法の方がより細やかな応力分布の検出が可能であったこと、および術後1週での応力が大きい部位では1年後の骨密度は高くなる傾向にあり、術後1年以降の骨萎縮の出現は術後1週の時点で予測することができる可能性があるかと著者は結論している。

審査の結果の要旨

(批評)

本論文は、大腿骨への応力分布に関して、模擬骨を用いて熱弾性応力測定法と有限要素法という二つの測定方法の妥当性について検討し、人工股関節全置換術症例では有限要素法により算出した術直後の応力分布と術後1年間の骨萎縮の関係について検討したものであり、人工股関節全置換術症例における術後の骨萎縮を予測し、術後長期成績を向上させる上で重要な知見を与える論文であると高く評価された。

令和2年12月22日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもと論文について説明を求め、関連事項について質疑応答を行い、最終試験を行った。その結果、審査委員全員が合格と判定した。

よって、著者は博士(医学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。