

令和 6 年 5 月 2 4 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K18517

研究課題名（和文）有限要素法を用いた大腿骨頭壊死症の骨頭圧潰予測スコアリングシステムの開発

研究課題名（英文）Development of a predictive scoring system for osteonecrosis of the femoral head Using Finite Element analysis

研究代表者

原田 義史（Harada, Yoshifumi）

弘前大学・医学研究科・客員研究員

研究者番号：50587045

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：大腿骨頭壊死の病期進行予測を目的として、有限要素解析による応力解析を行った。大腿骨頭圧潰進行後の症例は壊死部の弾性係数が有意に低値であったが、相当応力には有意差を認めなかった。荷重ストレスは大腿骨頭部外側に大きく加わっていた。大腿骨頭相当応力と寛骨臼被覆の相関解析で、Sharp 角、Center-edge angle、Lateral center-edge angle、Anterior center-edge angle、Anterior acetabular sector angle、Posterior acetabular sector angleのいずれとも有意な相関を認めなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大腿骨頭壊死症の自然経過を正確に予測することは、手術治療の適応、薬物学的/外科的治療介入の有効性評価に重要である。個々の症例の骨形態と骨の機械的特性を加味した応力解析が可能な有限要素解析により、新たな知見を得られると考え研究を行った。股関節の受け皿となる骨盤寛骨臼の骨性被覆と大腿骨頭にかかる応力との関連を検討したが、有意な関連を証明することはできなかった。

研究成果の概要（英文）：Stress analysis of necrosis of the femoral head was performed using finite element analysis in order to predict the stage progression of osteonecrosis of the femoral head. The elastic modulus of the necrotic area was significantly lower in the cases after the femoral head collapse progression than in the cases before the collapse progression, but there was no significant difference in the equivalent stress. Load stress was applied largely to the lateral side of the femoral neck. Correlation analysis of equivalent stress of the femoral head and acetabular coverage revealed no significant differences in sharp angle, center-edge angle, lateral center-edge angle, anterior center-edge angle, anterior acetabular sector angle and posterior acetabular sector angle. In this study, no significant association was found between hip joint morphology and equivalent stress on the femoral head.

研究分野：整形外科

キーワード：大腿骨頭壊死 有限要素解析

1. 研究開始当初の背景

大腿骨頭壊死症は大腿骨頭が阻血性壊死に陥って圧潰し、股関節機能が失われる難治性疾患である。厚生労働省の特定疾患に指定され、ステロイド投与歴やアルコール愛飲歴のある若壮年層に多く、年間に 2000～3000 人の新規患者が発生している。症例の中には無症状のまま経過する症例と、大腿骨頭の圧潰による進行性の関節破壊をきたし、二次性の変形性関節症へと至る症例が存在する。これまでは X 線や MRI 画像所見から自然経過を予測する研究が行われてきたが、画像検査のみでの圧潰予測には限界がある。大腿骨頭壊死の発生が認められた症例に対し、その後の発症・関節障害に関する予後予測を行うことは、患者への病状説明、骨切り手術など関節温存治療の適応の決定、さらには薬物学的/外科的治療介入の有効性評価に極めて重要である。

大腿骨頭壊死症の骨形態と機械的特性の個人差を加味した応力解析が可能な有限要素法が圧潰進行の予測に有効であると考えた。本研究では有限要素法による大腿骨頭壊死症の応力解析を行うことで、より正確な圧潰進行予測システムを開発することを目標とした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大腿骨頭壊死症の自然経過をより正確に予測する指標をあきらかにすることである。症例毎の骨強度、機械的特性を考慮した圧潰予測が有効と考えられるが、実際に股関節にかかる負荷に関して生体力学的に評価することは不可能である。従来は、主に X 線画像評価による壊死領域の大きさと位置が圧潰進行の予測因子として用いられてきた。しかしながら、関節荷重部の応力は骨盤形態や大腿骨形態により変化することが知られている。股関節の骨形態は三次元的に複雑な構造をしており、かつ寛骨臼の被覆や大腿骨頸部の前捻など個人差が大きいことが特徴である。

近年は骨構造解析高解像度 CT によって、生体内における三次元骨微細構造解析が可能となっている。高解像度 CT を基に 3D 解析モデルを作成することによって、壊死部の表面構造のみならず、内部構造まで良好に描出可能である。3D 解析モデルに有限要素解析法を用いて任意の条件の負荷を加えることで、大腿骨頭壊死部における応力・ひずみ分布を評価することができる。画像検査の評価に加えて骨形態と機械的特性を圧潰予測に取り入れることで、より正確に自然経過を予測することが可能となるものと考えて研究を行った。

3. 研究の方法

弘前大学医学部付属病院で大腿骨頭壊死症治療目的に撮像した CT 画像データを使用し、有限要素解析ソフトウェア「Mechanical Finder version 9.0 (計算力学センター)」を用いて 3D 骨モデルを作製した。CT 撮像時には管電圧の日内変動や被写体の体型の影響を減少させるために骨量ファントム(京都化学)を使用した。大腿骨頭壊死の圧潰を生じる前の症例を対象として解析を行った。画像の CT 値から弾性率換算を行うことで、皮質骨と海綿骨の異なる構造をもつ不均一材料として骨モデルを構築した。骨モデルを 2-4mm 大の四面体要素で有限要素化した。骨の弾性率は Keyak の式を用いて CT 値から算出しポアソン比、皮質骨、海綿骨、軟骨組織、壊死組織にポアソン比の材料定数を与

えた。荷重拘束条件は大腿骨骨幹部中央とし、荷重条件として寛骨に垂直方向に 1000N の負荷をかけ、大腿骨頭にかかる相当応力の平均値を算出した。

大腿骨頭の壊死領域サイズ、大腿骨頭圧潰進行度別に相当応力を比較した。寛骨臼被覆に関わる指標として、単純X線学的指標であるSharp角、Center-edge angle、ならびにCT評価による指標であるLateral center-edge angle、Anterior center-edge angle、Anterior acetabular sector angle、Posterior acetabular sector angleを評価した。相当応力と寛骨臼被覆の関連をPearsonの相関係数を用いて統計学的に検討した。

4 . 研究成果

大腿骨頭圧潰進行後の症例は圧潰進行前の症例より壊死部の弾性係数が有意に低値であったが(367 ± 89 MPa - 271 ± 78 MPa、 $p=0.030$)、相当応力には有意差を認めなかった(3.5 ± 1.1 MPa - 2.7 ± 0.6 MPa、 $p=0.11$)。荷重ストレスは大腿骨頸部外側に大きく加わっていた。

大腿骨頭相当応力と寛骨臼被覆の相関解析で、Sharp 角($r=-.0.092$ 、 $p=0.828$)、Center-edge angle($r=0.248$ 、 $p=0.553$)、Lateral center-edge angle($r=-0.190$ 、 $p=0.653$)、Anterior center-edge angle($r=0.697$ 、 $p=0.055$)、Anterior acetabular sector angle($r=0.360$ 、 $p=0.381$)、Posterior acetabular sector angle($r=0.058$ 、 $p=0.891$)といずれも有意な相関を認めなかった。有限要素解析を用いた解析で、股関節形態と大腿骨頭への相当応力との間に有意な関連を認めなかった。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1 . 発表者名 大石和生、原田義史、亀井敬太、山本祐司、鎌田陽光、石橋恭之
2 . 発表標題 大腿骨頭壊死症における大腿骨頭の相当応力と寛骨臼蓋被覆のパラメータとの関連
3 . 学会等名 第49回日本臨床バイオメカニクス学会
4 . 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6 . 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------