

骨折メカニズム解明のための実動作に基づいた有限要素解析

Finite Element Analysis for the Elucidation of Fracture Mechanisms Considering Human Action

○平佐知暉¹, 岩崎有稀², 久留隆史³, 内木場文男⁴, 金子美泉⁴

*Tomoki Hirasa¹, Yuki Iwasaki², Takashi Hisatome³, Fumio Uchikoba⁴, Minami Kaneko⁴

Abstract: Total hip arthroplasty is widely performed worldwide, but one of the postoperative complications is periprosthetic hip fracture of the femur. However, the mechanisms and conditions under which this fracture occur are not fully understood. Therefore, the objective of this study was therefore to perform an analysis taking falls into account in order to ascertain whether muscles influence fractures. A model with attached ligaments and muscles were created and the effect of falls were checked. The result of the comparison with reference to the actual fracture line is that the influence of the ligaments was confirmed to be significant.

1. 緒言

整形外科手術の一つとして、人工股関節全置換術 (Total Hip Arthroplasty : THA)が挙げられる。THAは変形性股関節症および大腿骨頭壊死症などの疾患により機能障害を来した股関節に対して、人工股関節で置き換える手術である。大腿骨には人工股関節の一つであるステムを挿入する。THAは医療技術の向上や高齢化社会、平均寿命の引き上げを背景に、2004年から手術件数が増加し続けており、今後ニーズが高くなると予測されている^[1]。一方、THAの手術を受けた患者の中には、転倒などの外的要因により、大腿骨のステム周辺部において骨折が生じる事例が報告されている。以上よりステム周辺骨折が生じる原因・メカニズムの解明が求められている。

ステム周辺骨折の解析には、有限要素法が主に用いられている。この有限要素法は複雑な形状である人体の部位を用いた解析が可能であり、実物を観察できない体内の現象を可視化できるため、医療分野への応用として注目されている。しかしステム周辺骨折ではモデルに対して単純な荷重をかけ荷重の値を検討した研究はされている^[2]が、人間の実動作を適用した研究は少ない。そこで我々はこれまで人間の実動作を適用した際に靭帯が大腿骨の骨折にどのような影響しているかを確認し、実際の大腿骨の骨折線との比較を行った^[3]。

本研究では大腿骨骨折に筋肉がどのような影響を与えるか確認するために、筋肉を加えたモデルに転倒時を模した力加えて解析を行う。その後、靭帯のみ取り付けたモデル^[3]並びに実際の骨折線との比較を行う。

2. シミュレーションモデルと解析方法

大腿骨には複数の筋肉が付着しているが、本解析では中殿筋を対象に Figure 1 のような筋肉が付着したモデルを作成した。中殿筋は大腿骨の大転子と骨盤の間に付着している筋肉で、大転子を上方方向に引っ張り上げる。靭帯を含めた大腿骨モデルに中殿筋の 3D モデル (BodyParts3D © ライフサイエンス統合データベースセンター)を加えた。

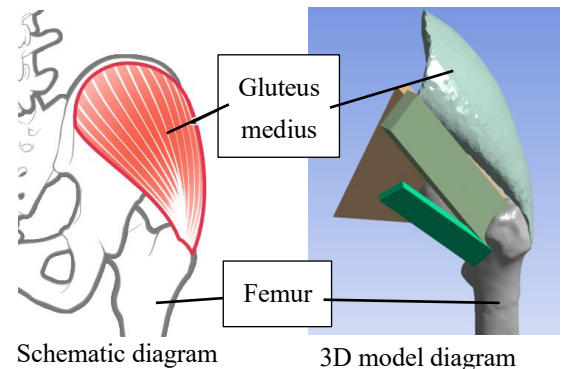


Figure 1. Model diagram

大腿骨は Figure 2 のような転倒時を模した上部荷重 1428[N]・モーメント 30[Nm]・外部打撃 2000[N]を加え、中殿筋は骨盤と付着している方向に合力 60[N]を加えた。また、大腿骨の末端部・靭帯と骨盤の接触面を固定した。物性値は先行研究^{[4][5][6]}を元に付与した (Table 1)。

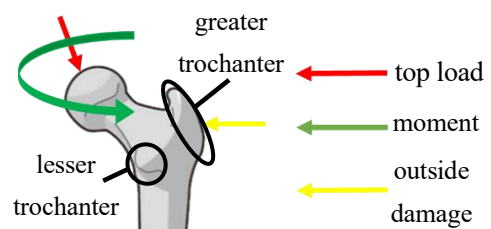


Figure 2. Stress analysis schematic diagram

1: 日大理工・院 (前)・精機 2: 日大理工・学部・精機 3: 日本大学病院 4: 日大理工・教員・精機

Table 1. Physical properties table

Part	Young's modulus [MPa]	Poisson's ratio
Femur ^[4]	12000	0.4
Ligament ^[5]	260	0.3
Muscle ^[6]	3.113	0.3

本解析は転倒時の力に筋肉の引っ張り力が加わった場合に大腿骨への応力の影響がどのように変化するかを、骨折線と比較して確認する。

3. 解析結果・考察

本モデルの応力分布を Figure 3 に示す。本モデルでは、筋肉と大腿骨の接触面を中心に大転子部の複数の箇所ですり応力集中が確認され、その中でも外部打撃が重なる位置に最大応力 332.42[MPa]を確認した。

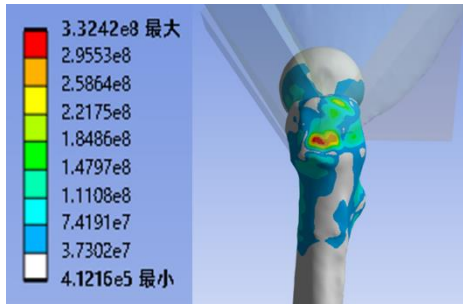
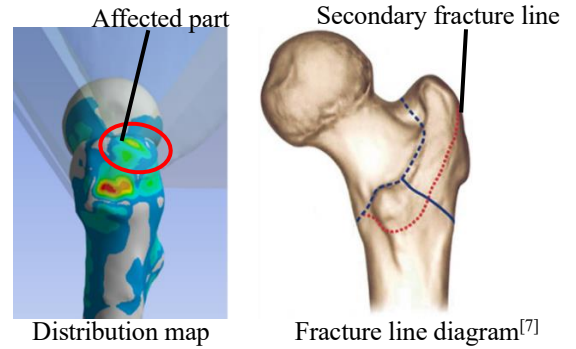


Figure 3. A hip joint model stress distribution map

これまでの靭帯のみ取り付けたモデル^[3]と比較すると、靭帯のみ取り付けたモデルでは靭帯の付着部付近に応力集中が見られたが、本モデルでは大転子付近を中心に応力集中が見られた。この応力集中の位置が変化した要因として、筋肉の引っ張り力が追加され大転子との接触面を中心に力が集中したためと考えられる。

次に Figure 4 の骨折線と比較すると、靭帯のみ取り付けたモデルでは確認されなかった大腿骨の2次骨折線(赤色点線)と同じ傾向が確認された。その要因として、大転子と筋肉の付着位置は2次骨折線上に位置しているからと考えられる。したがって2次骨折線には筋肉が影響しており、その他の筋肉を追加することでより高精度に傾向を再現できると考えられる。

以上より、大腿骨の骨折には筋肉の引っ張り力が影響していると考えられる。今後は骨折線を高精度に表現することで、実際の骨折との整合性が向上させる。また、骨折線を再現した条件をステムを挿入したモデルに適用し、ステム周辺骨折への影響を確認する。



(red dotted line : secondary fracture line)

Figure 4. Comparison diagram with fracture line

4. 結論

本稿では大腿骨骨折に筋肉が与える影響を確認するために、筋肉を加えたモデルに転倒時を模した力を加えた解析を行い、筋肉の影響を確認することを目的とした。その結果、筋肉と大腿骨の接触面を中心に応力集中が確認された。靭帯のみ取り付けたモデルと比較すると、骨折位置が脚の内側から外側へ移動した。また骨折線と比較すると、2次骨折線と同じ傾向が確認された。これらの結果より、大腿骨の骨折には筋肉が影響していると考えられる。今後はその他の筋肉を含めた解析を行い解析精度を向上させ、ステム周辺骨折への影響も確認する。

5. 参考文献

- [1] 加畑多文：「人工関節置換術の基本知識—有効なりハビリテーションのために—」, p698-703, 2017.
- [2] 坂上敦, 久留隆史：「前傾位設置と中間位設置におけるTHAステム周囲の応力解析」, Hip Joint, 45, p553-558, 2019.
- [3] 平佐知暉ら：「ステム周辺骨折におけるメカニズム解明のための有限要素解析」, 2024年度春季大会研究発表講演会講演論文集, 日本設計工学会, 2024.
- [4] 坂本二郎：「皮下組織内部応力評価のための力覚センサー実装型人体ダミーモデル開発」, 科学研究費助成事業 研究成果報告書, 2018.
- [5] 坂本二郎：「皮下組織内部応力評価のための力覚センサー実装型人体ダミーモデル開発」, 科学研究費助成事業 研究成果報告書, 2018.
- [6] 菊池志げ子：「人体のヤング率の経年的変化」, 1984.
- [7] 久留隆史：「大腿骨転子部骨折治療のエッセンス」, p9-11.