

OS3-1

高齢者転倒による大腿骨頸部骨折リスク評価のためのシミュレーションモデル

Biomechanical Simulation Model for Risk Assessment of Hip Fracture by Elderlies' Fall Accidents

○ 山本創太 (芝浦工大), 水野陽介 (富士通), 新田圭祐 (トヨタモデリスタ),
田中英一 (名大), 平林智子, 水野幸治, 原田敦 (国立長寿医療研究センター病院)

Sota YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology

Yosuke MIZUNO, Fujitsu

Keisuke NITTA, Toyota Modellista International

Eiichi TANAKA, Nagoya University

Satoko HIRABAYASHI, Nagoya University

Koji MIZUNO, Nagoya University

Atsushi HARADA, National Center for Geriatrics and Gerontology

Abstract: To assess risks of hip fracture of elderly female, we have developed computational biomechanical model. The model is a hybrid model of multibody and finite element model, which consists of multibody model of whole body segments and finite element model of hip joint and surrounding tissues. By this model finite element analysis for proximal femur coupled with kinematic analysis of falling elderly can be conducted. In this paper we represent the overview of the hybrid model and results of fall analyses and hip fracture risk assessment. The developed computational model can be expected to be applicable to biomechanical evaluations of hip pad.

Key Words: Computational Biomechanics, FEM, Multibody Simulation, Hip Fracture, Hip Pad

1. 緒言

大腿骨頸部骨折は、股関節部の大腿骨近位に発生する骨折で⁽¹⁾、高齢者の寝たきりを引き起こす主要因の一つである。高齢者人口の増加に伴い、大腿骨頸部骨折患者数は急速に増加している⁽²⁾。そのため、大腿骨頸部骨折の予防は最重要な高齢者医療課題の一つに挙げられる。

大腿骨頸部骨折の多くが転倒時に発生することから、高齢者転倒時の大腿骨、股関節に作用する衝撃負荷の有限要素解析による見積りは、骨折発生リスクの有力な評価手段となると期待できる。このとき、高齢者特有の転倒挙動を適切な境界条件で表現する必要があるが、十分な高齢者転倒の実験、観察データを得ることは困難であり、また転倒条件に依存する大腿骨への衝撃荷重を単純な境界条件に落とし込むことも容易ではない。

この問題に対し、著者らは高齢者の体格、歩行様態を考慮したマルチボディ転倒シミュレーションモデルと、股関節および周辺組織の有限要素モデルを組み合わせた高齢者人体モデルを構築し、マルチボディ有限要素連成解析による大腿骨頸部骨折リスク評価ツールを開発してきた⁽³⁾。本報告では、開発してきたモデルの概要、および大腿骨頸部骨折リスク評価への適用例を示す。

2. 日本人高齢女性モデルと転倒条件

日本人高齢女性のマルチボディ有限要素複合モデル(図1)は、高齢女性の平均的体格模擬したマルチボディモデルに、左股関節部の詳細な構造、力学特性を再現した有限要素モデルを組み込んだものである。

マルチボディの各関節は、男性屍体の関節剛性⁽⁴⁾を高齢女性の体格に合わせてスケールした特性を持つ。脊柱の湾曲は平均身長に近い高齢者の湾曲を参考に再現した。

有限要素モデルは、臼蓋、近位大腿骨、それらを取り囲む靭帯、筋、皮膚から構成される(図2)。有限要素モデルの臼蓋および軟組織の頭側断面を腰部マルチボディと、大腿骨および軟組織遠位側断面を大腿部マルチボディと剛連

結した。このとき、マルチボディモデルの左股関節はフリージョイントとし、関節剛性は有限要素モデル部の剛性によるものとした。

このモデルに既報⁽⁵⁾にて計測した高齢女性の歩調を考慮した姿勢を与えた。このとき、歩行速度はボランティアのゆっくりした歩行(Slow; 66 cm/s)、通常の歩行(Normal; 95 cm/s)、速い歩行(Fast; 121 cm/s)とし、それぞれの歩行速度条件での歩行様態を再現した。転倒要因はSmeestersら⁽⁶⁾の条件を参考に、意識喪失、滑り、つまずき、踏み外しの4通りとした。

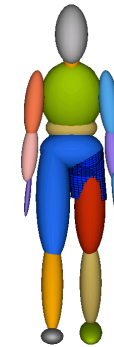


Fig. 1 Overview of the Developed Multibody-Finite Element Hybrid Elderly Female Model

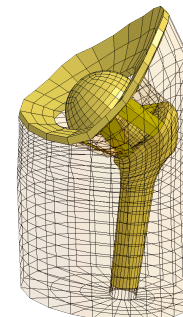


Fig. 2 Finite Element Thigh Model

3. 解析結果

マルチボディモデルの挙動から、転倒時には典型的に3種類の転倒があることがわかった。すなわち、(A)直接腰部を接地する転倒、(B)膝もしくは大腿部を接地した後に腰部を接地する転倒、(C)頭部を接地する転倒が観察された。本解析では大腿骨頸部骨折のリスク評価を行うため、(A)と(B)の場合のみを評価対象とした。

地面と膝もしくは腰部の衝突により大腿骨頸部に生じる応力分布の評価を行った。解析結果の1例を図3に示す。

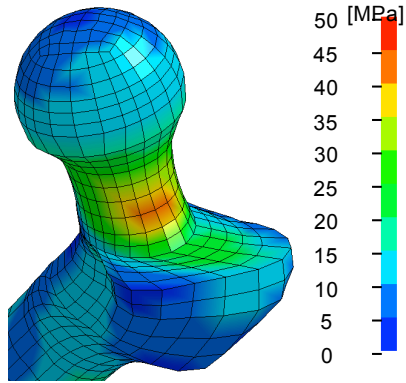


Fig. 3 An Example of Maximum Shear Stress Distribution in Femoral Neck (Fall from Double Support by Faint, Gait Speed 95 cm/sec)

大腿骨の強度が骨密度分布に従い部位により異なること、骨の引張、圧縮、せん断強度が異なるため、破壊がいずれのモードにより生じるのかを評価する必要があることから、以下に示す骨折危険度を評価指標として採用した。

$$Fr = \text{Max}(\sigma_c/S_c, \sigma_t/S_t, \sigma_s/S_s) \quad (1)$$

ここで $\sigma_c, \sigma_t, \sigma_s$ はそれぞれ皮質骨要素の最小主応力、最大主応力、最大せん断応力で、 S_c, S_t, S_s はそれぞれ各皮質骨要素の圧縮、引張、せん断強度である。すなわち骨折危険度は、引張、圧縮、せん断について各要素の応力を強度で除したもののうち最大のもので、1に達すると骨折と判定される。図4(a)~(c)に腰部を直接接地する場合、膝をつく場合、膝をついた後に腰部を接地する場合について、転倒要因ごとの骨折危険度の分布を示す。直接腰部を接地するような転倒では骨折危険度を1より大きくなるケースがあり、骨折発生の危険性があることがわかった。特にすべりによる転倒で膝をつくときにも比較的高い骨折危険度がみられたが、骨折の発生には至らないと考えられた。

以上のようにマルチボディー有限要素連成解析により、転倒時の人体挙動を考慮した大腿骨頸部骨折評価が可能であることが示された。この骨折評価ツールにヒッププロテクタ有限要素モデルを導入することで、ヒッププロテクタによる骨折予防効果の評価も可能であると考えられる。

4. 結言

本研究では、大腿骨頸部骨折評価ツールとしてマルチボディー有限要素連成解析による高齢女性計算バイオメカニクスモデルを提案し、それによる骨折リスク評価を行った。提案したモデルにヒッププロテクタモデルを導入することで、ヒッププロテクタによる骨折予防効果の評価にも適用可能と考えられる。

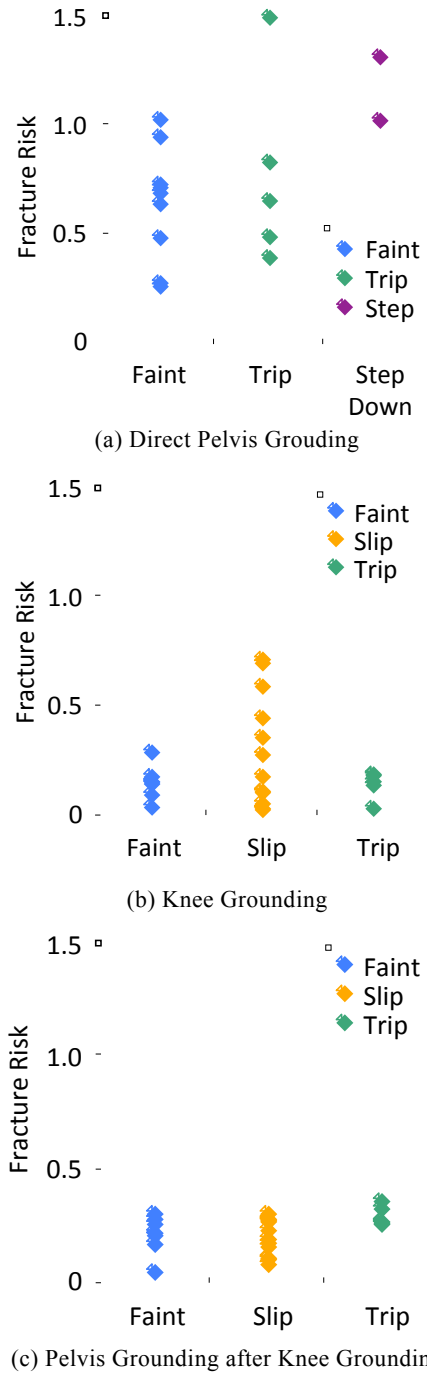


Fig. 4 Fracture Risk Assessment in Various Fall Factor

参考文献

- (1) 村地俊二, 三浦隆行, 骨折の臨床(1980), 中外医学社, pp. 383, 385, 389.
- (2) 折茂肇 他, 第5回大腿骨近位部骨折全国頻度調査成績, 日本医事新報, No.4492 (2010), pp. 73-77.
- (3) 水野ら, 日本機械学会第23回バイオエンジニアリング講演論文集No. 10-74, pp. 321-322.
- (4) Yang, J., Injury Biomechanics in Car-Pedestrian Collisions, Thesis for PhD, Department of Injury Prevention, Chalmers Univ. Tech., (1997), pp. v1-v17.
- (5) 成田ら, 日本機械学会2007年度年次大会講演論文集No. 07-1 (5), pp. 187-188.
- (6) Smeesters, C. et al., Disturbance Type and Gait Speed Affect Fall Direction and Impact Location, J. Biomechanics, Vol. 34 (2001), 309-317.