

転倒時に緩衝性を有する材料が骨に与える影響

Effects of buffering materials on bone by fall.

○ 久保田怜 根本哲也(長寿研) 伊藤安見(名古屋大院)

大河原宏晶(長寿研) 桜井亨(アイム) 原田敦 松浦弘幸(長寿研)

Ryo KUBOTA, Tetsuya NEMOTO, Hiroaki OOKAWARA, Atsushi HARADA, Hiroyuki MATSUURA,
National Center for Geriatrics and Gerontology
Yasumi ITO, Nagoya University
Toru Sakurai, I'm Engineering

Abstract: The elderly person's fracture causes a significant decrease of their quality of life. Femoral neck fracture of the elderly person especially disturbs a rising and a walk necessary for everyday life immediately. Therefore this case becomes the direct factor to become the need of nursing care by external force. In this study, we made three-dimensional bone model with his bone shape and the bone density from the X-rays CT image of the elderly person. The computer simulation that assumed the use of a soft tissue and the fracture prevention ware was performed using it. As a result, the stress distribution of the bone was found to be influenced from a buffering material. It was suggested by there that there was the risk of the bone fracture because of the buffer material.

Key Words: prevention of fracture, Diagnosis support

1. 序論

現在、日本の高齢化率は23.3%に達し、2025年には30%を超えると報告されており、加齢による寝たきりや介護を必要とする高齢者の数も急速に増加している⁽¹⁾。介護者が要介護者の配偶者である場合、いわゆる老老介護の割合は25.7%を占め⁽²⁾、介護による極度の過労から介護者が倒れるケースも増加している。

そのため、高齢者の介護・介助を支援する機器の導入は、非常に期待されている。そのような生活支援機器を用いる場合、高齢者と機器の距離は非常に近くなり、接触、衝突による転倒や転落に関するリスクを考慮することが非常に重要である。しかし、加齢により身体能力・機能が低下している高齢者は軽い衝突や抱きかかえによる接触で人体損傷が起き易く、骨折したりや褥瘡になる危険性が高い。高齢者の骨折、特に大腿骨頸部骨折は、直ちに日常生活に必要な起立や歩行を行うことができなくなるため、外力により要介護となる直接的な要因となっている⁽²⁾。そのため、大腿骨に外力が生じ、骨折にいたるまでの応力状態を明らかにすることは非常に重要で、個々の患者の骨形状や骨密度をモデル化し非侵襲的に評価できるFEMを用いた骨強度評価が利用されている。しかし、この方法は、骨単体の強度評価であり、一般的に、外力が直接骨に伝わることはなく、筋肉、脂肪、皮膚や緩衝材を伝播する。これらの軟組織は、外力を分散あるいは集中させる緩衝材としての役目を果たすため、加齢により軟組織の量が減少し、質が低下した高齢者の場合、骨折によるリスクを上げてしまうと考えられる。そのため、高齢者の日常生活における骨折リスクを評価するには軟組織を含めた骨折強度予測を行うことが重要であると考えられる。

本研究では、高齢者が生活支援機器に接触し転倒、もしくは転落した際の骨強度評価を行った。高齢者X線CT画像をもとに骨形状と骨密度を考慮した3次元骨モデルと軟組織を想定した緩衝性を有する材料を作成し有限要素解析を行い、緩衝性を有する材料が骨に与える影響についての評価方法の検討を行った。

2. 実験方法

2-1 3次元骨モデル

X線CT画像を元に作成した3次元骨モデルに、定量的CT法(Quantitated Computed Tomography:QCT)により測定した骨密度を反映させ、有限要素解析を行うことで骨の強度を計算した。この方法を用いることで、3次元骨密度分布を持った骨構造の力学的な強度評価を行うことが可能である。3次元骨モデルの作成および解析には骨強度評価ソフトウェア(MECHANICAL FINDER, 株式会社計算力学研究センター)を用い、3次元骨モデルの密度は、大腿骨と同時に撮影した骨量ファントム(B-MAS200, 株式会社京都科学)のCT値を参照して、ハイドロキシアパタイト相当量の検量線を求め、3次元骨モデルの海綿骨を骨密度に変換し、非均質な等方性材料として近似した。

3次元骨モデルには、DXAによる大腿骨の骨密度(Bone Mineral Density)により5例の右大腿骨のデータを抽出し、3次元骨モデルを作成した。表1に作成した3次元骨モデルの一般的な骨粗鬆症の検査で用いられるDXA法によるBMDとCT値から計算した3次元骨モデルのリン酸カルシウムの最大密度(骨の密度)を、図1に骨の密度分布を示す。

2-2 緩衝材モデル

骨への応力伝播を明らかにすることが目的であるため、ゴム弾性体の条件で緩衝材を作成し、加齢による軟組織の量の減少を想定し、厚さを変化させて解析を行った。軟組織の厚さは、骨モデルを作成した5例の軟組織の平均厚さの18mmを基準として、軟組織の減少を想定し9mmと減少していないあるいは骨折予防具などの使用を想定し18

Table 1 BMD and density of femur

	Sex	age	BMD [g/cm ²]	Density [g/cm ²]
A	female	77	0.352	1.24
B	female	77	0.548	1.34
C	female	78	0.638	1.37
D	female	77	0.754	1.29
E	male	75	1.091	1.27

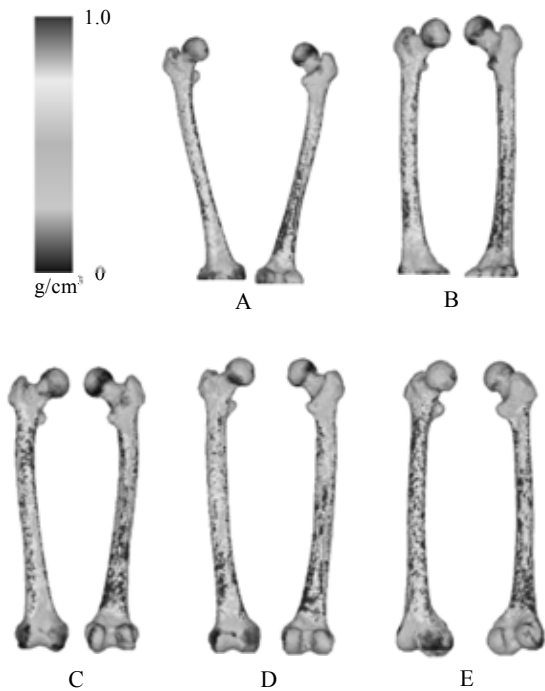


Fig.1 The density distribution of three-dimensional bone model

mm の 3 種類とした。また、緩衝材モデルのヤング率は 0.01 Pa とした。

2-3 衝撃荷重印加速度

本研究では、高齢者が生活支援機器に接触し転倒あるいは、搭乗した状態から転落した場合を想定し、転倒・転落時に大腿が受ける加速度を測定した。測定には、振動ジャイロセンサー(VSAS-2GM, 株式会社東京計器)を大腿部に取り付け、起立した状態からの転倒と椅子からの転落の動作を行った。図 2 に測定した大腿の角度を示す。図 2 からわかるように、立位からの転倒の場合、大腿の角度は -90° すなわち、地面とほぼ平行になった後も増加し、その後 -80° で静止した。しかし、椅子からの転落の場合、大腿の角度は、約 -90° で最大となり、その後 -80° で静止した。これは、立位からの転倒と椅子からの転落では、重心位置の違いから地面と接触した時の衝撃が異なり、立位からの転倒では、地面との接触した後、体が跳ね上がったと考えられる。本研究で行った転倒および転落の動作における最大の加速度はともに -90° の時にあらわれ、立位からの転倒の場合 2.47 G、椅子からの転落の場合 1.29 G と大きく異なっていることがわかった。この大腿に生じた最大の加速度と 3 次元骨モデルの身長・体重から衝撃荷重を負荷する物体の質量と速度を求め解析に用いた。

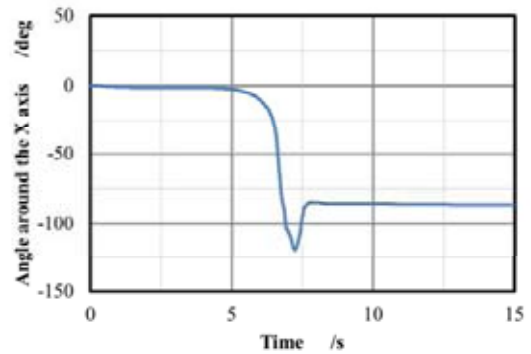
2-4 荷重・拘束条件

解析に用いた荷重および拘束条件は、側方に転倒し大転子付近から地面に接触する動作を想定した。解析では、大腿が地面から受ける衝撃荷重の代わりに錘を緩衝材と大腿骨に衝突させた、図 3 に錘の衝突位置・方向および拘束部を示す。

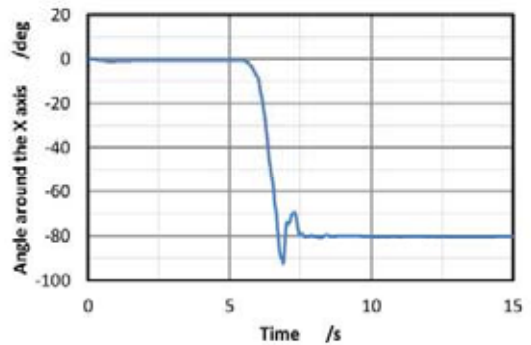
3. 結果および考察

3-1 骨強度・骨形状の違いによる緩衝材の影響

大腿骨の骨密度および形状は、3 次元骨モデルごとに異なっているため、A~E の骨モデルの緩衝材の影響を調べ



(a) Fall from standing



(b) Fall from sitting on the chair

Fig.2 Angle of femur by fall motion

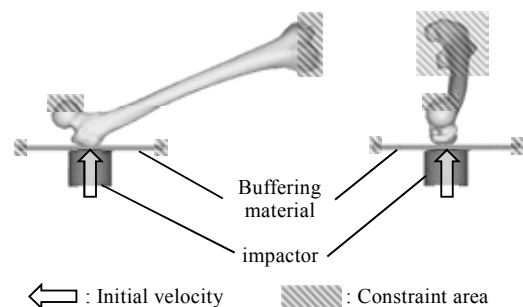


Fig.3 Load and constraint condition

た。緩衝材モデルの厚さを 9 mm、衝撃荷重印加速度を起立した状態からの転倒とし、解析を行った。図 4 に結果の一例を示す。図 4 からわかるように、3 次元骨モデル A は頸部の付け根に応力集中が見られ、D は大転子に応力集中が見られた。このように 3 次元骨モデルの骨密度・骨形状によって応力の伝播が異なり、骨折の位置や外力などの骨折リスクに影響する可能性があることがわかった。

3-2 衝撃荷重印加速度の違いによる緩衝材の影響

転倒や転落により人体に生じる外力の大きさや速度は、大腿骨の高さによって大きく異なるため、起立した状態からの転倒および椅子に座った状態からの転落を想定し、衝撃荷重印加速度の影響を調べた。図 5 に 3 次元骨モデル E、緩衝材の厚さ 9 mm における解析結果の一例を示す。

図 5 からわかるように、起立した状態からの転倒の場合、応力集中が生じているが、椅子に座った状態からの転落では、応力集中が発生していない。これは、衝撃荷重印加速度が速い方が、わずかな接触で応力が伝わるため、転倒す

るときの重心高さによって、骨折の危険性が変わると考えられる。

3-3 緩衝材の厚さの違いが骨に与える影響

高齢者の加齢による軟組織の減少やヒッププロテクターの使用を想定し、緩衝材の厚さの違いが骨強度に与える影響について調べた。図6に3次元骨モデルE、緩衝材の厚さ9mmと18mm、起立したからの転倒の条件で解析結果の一例を示す。

図6からわかるように、緩衝材の厚さが9mmの場合、大転子部に応力が集中しているが、18mmの場合、頸部に応力が集中している。このことから、軟組織が少ない場合、大転子部が圧壊し、多い場合、頸部から骨折する危険性があると考えられる。

4. 結論

本研究では、軟組織を含めた骨強度の評価方法の検討として、外力を免ずる材料が骨へ与える緩衝性について調べた。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 骨形状・骨密度によって外力の伝播が異なり、骨強度に影響する可能性があることがわかった。
- (2) 外力の印加速度、すなわち転倒や転落するときの重心の高さによって、骨折の危険性が変わる可能性があることがわかった。
- (3) 軟組織の厚さによって、応力の発生・集中する部位が異なり、骨折の形態が異なる可能性があることがわかった。

参考文献

- (1) 内閣府，高齢社会白書平成24年度版，印刷通販，2012。
- (2) 厚生労働省大臣官房統計情報部，国民生活基礎調査平成22年第2巻全国編健康，介護，厚生労働統計協会，2012。
- (3) 江藤文夫，高齢者の転倒の原因，日本医師会雑誌，vol. 122, No.13, pp.1950-1954, 1999。

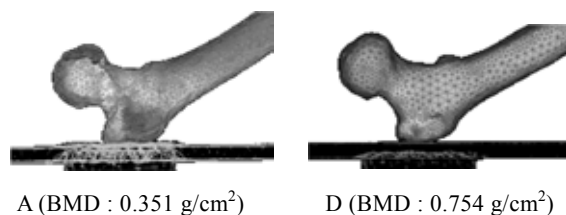


Fig.4 Maximum principal stress distribution on different bone models

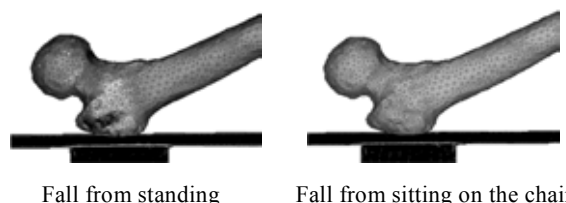


Fig.5 Maximum principal stress distribution on different initial velocity

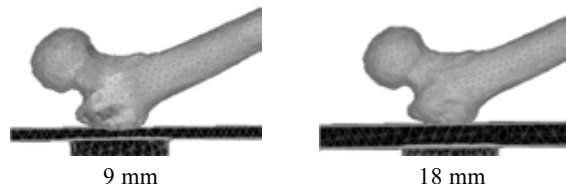


Fig.6 Maximum principal stress distribution on different buffering material thickness