

高齢者の転倒と大腿骨折のバイオメカニクス

牧川方昭¹⁾、塩澤成弘²⁾、岡田志麻³⁾

1) 立命館大学理工学部

2) 立命館大学スポーツ健康科学部

3) 近畿大学理工学部

Biomechanical Study on Fall and Hip Fracture of the Elderly

Masaaki MAKIKAWA¹⁾, Naruhiro SHIOZAWA²⁾, Shima OKADA³⁾

1) College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

2) College of Sport and Health Science, Ritsumeikan University

3) College of Science and Engineering, Kinki University

Abstract

To clarify the mechanism of fall and hip fracture of the elderly and to develop methods to prevent these incidents is one of the most urgent and important themes in Japan and also in most advanced industrial countries. Many elderly are confined to bed for long time by hip fracture and it facilitates secondary diseases, such as dementia and bedsores, and sometime this fracture becomes the cause of death. There are two main research methods about falls and hip fracture. One is the epidemiological study and the other is the biomechanical study. Generally speaking, epidemiological study is based on evidences and it requires a lot of population-based and long-term data. On the other hand, biomechanical study starts from each facts and some experiments. The goal of biomechanical study is to make a mechanical model that can explain the fall and the hip fracture. Of course these two slightly opposite research methods are necessary for the injury prevention and each method should compensate to each other. In this report We've tried to use the biomechanical method to investigate the mechanism of fall and hip fracture and how to prevent this injury

Key words : fall, hip fracture, elderly people, biomechanics, safety promotion

1. まえがき

工業先進国を先頭に世界的な社会の高齢化の中、高齢者の事故予防方法を確立することは日本だけでなく世界的に最重要課題である。中でも転倒/大腿頸部骨折によって多くの高齢者が寝たきり、あるいはその後遺症として痴呆あるいは床ずれに苦しんでいる。また時として、大腿骨折そのものが死亡の直接原因となっている。転倒/骨折のメカニズムを明らかにし、その予防方法を明らかにすること緊急の課題である。

図 1a) は厚生労働省が発表している 1998 年の日本における高齢者死亡事故の内訳を、b) は日本の家庭内での高齢者の事故死の内訳を示したものである¹⁾。北欧諸国での高齢者の家庭内事故死の第 1 位が転倒/骨折であるので、事故死原因の様相は大きく異なるが、それでも我が国の事故死原因の上位に数えられることには変わらない。

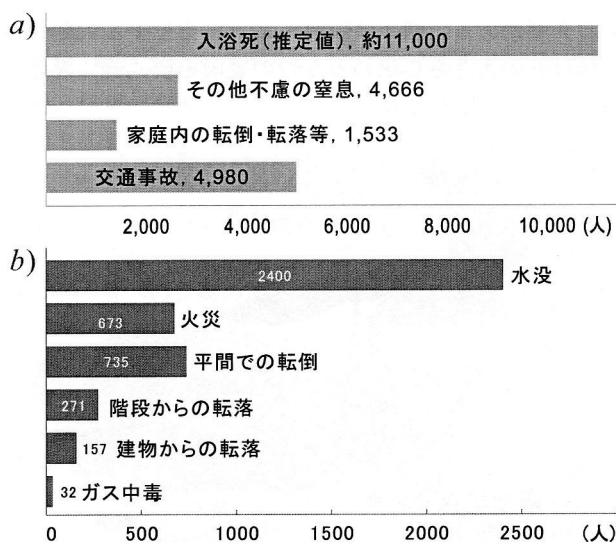


図 1. a) 日本の高齢者事故死の内訳 (1998)、b) 家庭内事故死の内訳

さて、転倒/骨折のメカニズムを明かにする方法としては、疫学的な手法とバイオメカニカルな手法がある。バイオメカニカルな研究では、ヒトを使って転倒/骨折実験ができないため、モデルあるいは計算機シミュレーションによる転倒と骨折のメカニズムの解明を進めることとなる。一方、疫学研究では長期の大規模な調査が必要であり、また調査の結果で直ちにメカニズムが判明するわけではない。従って、転倒と骨折のメカニズムを明らかにするためには、バイオメカニクス研究と疫学研究の両者が必要であり、お互いに補完する必要がある。ここでは、転倒と骨折のバイオメカニクスの観点から、転倒と骨折のメカニズムを検討した。

最初の疑問は、大腿骨が人間の体重程度の負荷で折れるかである。力学エネルギーの観点からの検討では、若者でも、条件によっては、立位の高さからの転倒でも骨折が起こることが明かとなっている²⁾。人類の長い進化の歴史の中で人体の構成要素や機能は最適化されていると考えて良いとされているが、若者でも転倒すると骨折する場合があるということである。それにもかかわらず、若者は転倒しても骨折に至らない場合がほとんどであることから、骨折を防止するメカニズムが存在するはずである。多くの研究が骨粗鬆症の骨折への影響を研究している^{3,5)}。もちろん骨粗鬆症が骨折の原因の1つであることは間違いないが、若者でも骨折に至ることがあることは、別の要因も検討しなければならないことを示している⁶⁾。

2. 高齢者転倒時の骨折メカニズム

高齢者転倒時の骨折には少なくとも5つの要因を検討する必要がある。図3は転倒によって発生する大腿骨への負荷Fの大きさを決める5つの要因を模式的に表している。詳細は以下に示す。

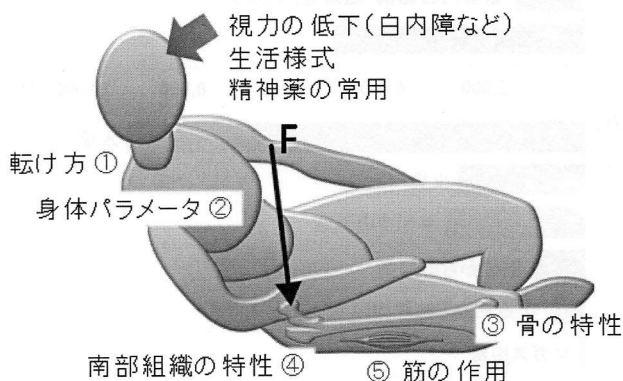


図2. 高齢者転倒時の骨折を決定する5つのバイオメカニクス要因

2.1. 転倒の仕方

図3に典型的な転倒の仕方を示す。もし高齢者が尻を下に倒れ込むと、大腿骨頸部に加わる力Fは大きく、前傾姿勢で倒れ込めば、腕を骨折することはあっても、大腿骨頸部を骨折することはないだろう。従って、骨折のメカニズムを明らかにするためには、まず転倒の仕方を知る必要がある。特に体幹と下腿の位置関係が重要である。後述するように、この位置関係によっては筋肉の長さが異なり、この筋肉の緊張によって大腿骨への負荷の大きさが変化するかもしれないからである。

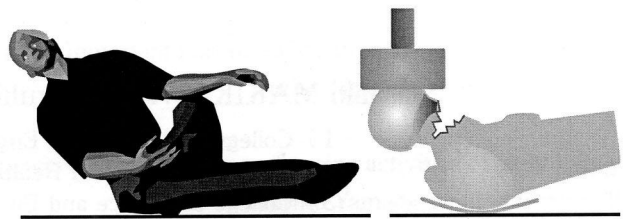


図3. 転倒と骨折

図4は東京都がインタビュー形式で収集した高齢者の転倒、転落経験をまとめたものである⁷⁾。このデータによると、40%の高齢者が年に1回以上転倒を経験し、この半数が怪我を負っている。この調査結果は、交通事故と異なり、転倒はいきなり起こるのではなく、転倒しやすいグループが存在していることを示している。この転倒しやすいグループに対して、集中的に手厚い予防策を施すことによって、転倒/骨折事故を大きく減らすことができそうである。

転倒しそうになった頻度 (n = 275)

1回	数回	頻繁
19.5%	71.4%	9.1%

転倒頻度 (n = 275)

1回	数回	頻繁
49.5%	46.5%	4.0%

転倒	つまづき	なし
41.4%	28.4%	30.2%
受傷21.4%		

転倒またはつまづき
39.7%

図4. 高齢者の転倒頻度 (文献7より改編)

図5はMano等によって調査された転倒原因である⁸⁾。このデータに示されるように、転倒の原因は、滑る床などの環境的な要因から、めまいなどの生理的な要因まで様々である。筆者の知人で、靴ひもを締めて立ち上がろうとしたが、急に意識が薄れ、気が付くと大腿骨頸部骨折で入院していた。立位時には脳血流を確保するために血圧上昇が伴うが、高齢者では自律神経機能が低下し、脳血流が不十分なため、転倒したものと考えられる。このような動的な血圧変動機能をモニタすることも転倒予防に寄与できるかもしれない。

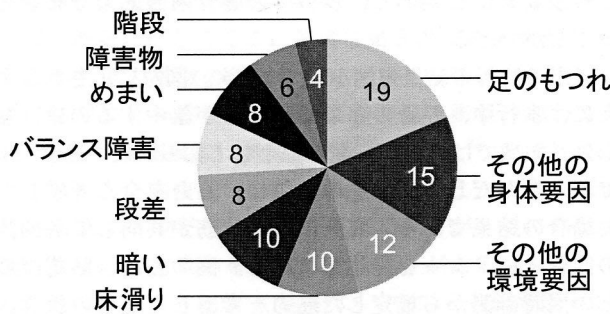


図5. 転倒の原因 (文献8より改編)

また、意識喪失による転倒を本人が気付かないことも、この種の疫学調査の仕方に問題を投げかけている。本人に事故の記憶がないため、これまでの調査結果の中にも随分多くの意識消失による転倒が含まれる可能性がある。

図6は、典型的な転倒の仕方としてまとめたものであり、注意喚起として、広く公開されているものに、前述の意識喪失と不安定な踏み台からの転落を加えたものである。これらの内、大腿骨の骨折に至ると考えられるのは、“意識喪失”、“すべり”、“階段”、“つかまりそこない”、“踏み台からの落下”、“ポータブルトイレ”である。

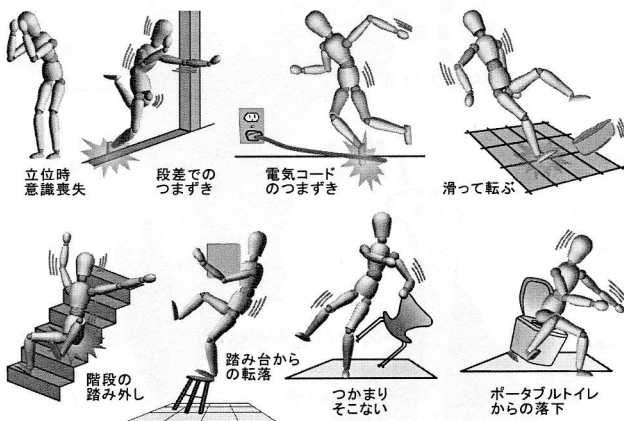


図6. 日本の高齢者の典型的な転倒様式

図7a)はMano等によって調査された日本の高齢者の転倒姿勢をまとめである⁶⁾。この円グラフが示すように、尻もち転倒、前方転倒、左右側方転倒がほぼ同数となっており、特に特定の転倒姿勢はないようである。バイオメカニクスの立場からは左右側方転倒、尻もち転倒が頸部骨折を引き起こすと考えられるので、転倒の約70%は頸部骨折を引き起こす可能性があることを示している。

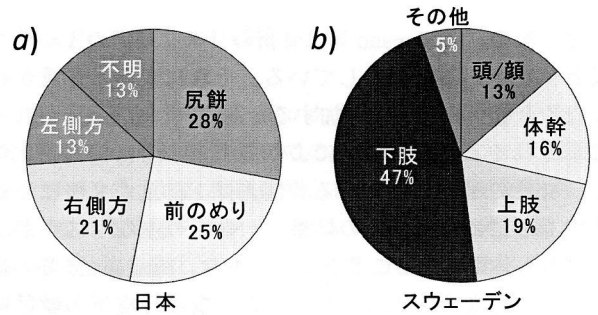


図7. a) 日本の高齢者の転倒姿勢 (n = 107)、b) スウェーデンにおける転倒に伴う骨折部位 (文献6より改編)

ここに1つの疑問が生じる。日本人と白人の間で骨折の頻度が違うのか、ということである。図7a)に示すように、Karubeは日本の高齢者では腰椎の圧迫骨折が一番多いことを報告している⁹⁾。一方、b)に示すように、スウェーデンの高齢者では大腿骨頸部骨折が一番多いことが知られている¹⁰⁾。転倒の発生率については両国でそれほど大きな違いは報告されていない。従って、日本とスウェーデンでは高齢者の転倒による骨折の仕方が違うことになる。とにかく、転倒・骨折のバイオメカニクスに必要な情報は十分とは言えない状況にある^{11,12)}。

2.2. 身体パラメータ

転倒/骨折のメカニズムを明らかにするためには、体重、身長、体重心位置、大腿骨の長さなどの身体パラメータを知る必要がある。図8a)に示すように、これらの身体パラメータは大腿骨に加わる力Fの大きさに影響する。a)に示すように、もし筋肉が働かなければ、大腿骨に外力Fがそのまま加わるが、b)に示すように、転倒時に筋力が働くと、骨への負荷の加わり方が変化する。

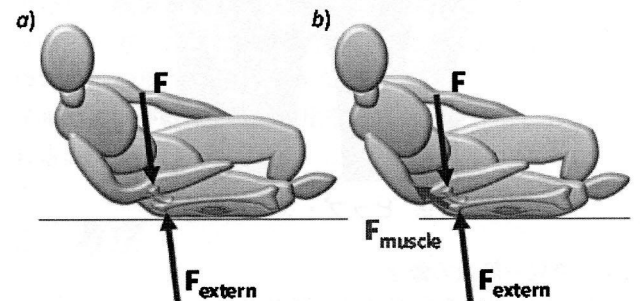


図8. a) 筋力が発生しない場合、b) 筋力が発生した場合

図に示されるように、転倒によって生じる力 F は骨頭中心に加わり、骨頭頸部の骨折を引き起こす。このように、転倒によって発生する力 F を知ることは骨折のメカニズムを知る上で重要であるが、実際にこれを測ることは難しい。Nakamura らはこの F が次式で表されるとしている¹³⁾、

$$F = 8.25w \sqrt{\frac{h}{170}} \quad \text{: 体重, : 身長} \quad 1)$$

ところで、Farahmand 等は骨折のリスク要因の1つに身長と体重があると報告している。それによると体重が軽くなると骨折の頻度が増加するとある¹⁴⁾。しかし、1) 式に示されるように、転倒により発生する力は体重に比例し、身長に平方に比例する。例えば、体重が2倍になると力も2倍になる。この結果は、骨折の主なリスクが身長よりも体重であることを示しており、Farahmand 等の結果と一致しない。太ったヒトでは、皮膚と皮下の軟部組織が保護として働く可能性もあり、外力 F がそのまま骨折の条件を示していない。

2.3. 軟部組織の動特性

外力 F は軟部組織によって振幅が小さくなり、ピーク時間が延長する¹⁵⁾。ここに興味深い研究がある。転倒を実際にモニターするため、Rosai Rehabilitation Center では転倒シミュレータを開発している¹⁶⁾。ように、転倒時の負荷を計測するためダミー人形を開発した。大腿骨頸部骨折を模擬するため、転倒装置を開発し、転倒時の大腿骨頸部への衝撃を与えている。結果は、大きな衝撃力が再現よく骨頭と臼蓋に加わっていた。また、図9に示されるヒップ・プロテクタによって転倒時の衝撃が約1/4減少していた。ヒップ・プロテクタはこの図に示されるように、骨折防止に有効であり、ピーク衝撃力を弱めることができる。換言すると、25%のピーク衝撃力を弱めることによって骨折が防止できるということである。

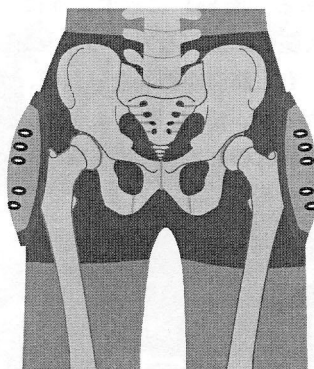


図9. ヒップ・プロテクタ

2.4. 神経-筋系の働き

骨への力学負荷に対する筋の作用に関して、興味ある研究がある。図10a)はこの研究の流れ図を示したもので

あり、歩行中の脛骨内の応力分布を推定することを目的としている。研究の第1段階は歩行中の各関節角度の変化の計測であり、この角度を微分することで、加速度、角加速度など運動方程式の解析に必要な運動パラメータを得ることができる。第2段階では、図b)に示すモデル化された人体に対して、各セグメントの運動方程式に加速度、角加速度、セグメントの重心位置、セグメント質量、慣性モーメント、床反力など、必要なパラメータを入力することによって、歩行中の各関節の関節力を推定することができる。研究の最終段階では、脛骨モデルに対して有限要素法を適用し、歩行中の脛骨内の応力分布をえることができる¹⁷⁾。

以上の解析の結果を図10c)に示す。図左に示されるように、歩行中、脛骨の中で最も応力が集中するのは、整形外科領域では骨折の好発部位として知られた“遠位1/3”である。ただし、図の左の結果は、筋力を全く考慮しない場合の結果である。実際には拮抗筋が共同して各関節の回転モーメントを発生している。図の右は、筋電図などの同時計測から推定した筋力を考慮した場合の脛骨内の応力分である。図に示されるように、遠位1/3の領域にあった応力集中が消失している。

このように筋力によって骨内の応力集中が解消されることはバイオメカニクス領域ではよく知られたことであり、骨の複雑な形状は筋力を考慮した形でモデリングされていることを伺い知ることができる。

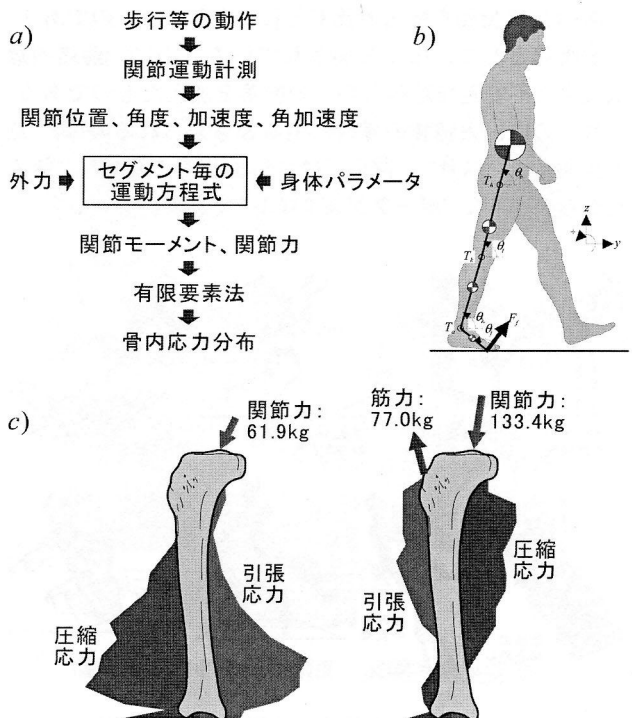


図10. 歩行中の下腿骨応力解析のa) 流れ、b) セグメント運動モデル、c) 解析結果（文献17より改編）

大腿骨の頸部はその形状から、力学的に折れやすい部位である。しかし、以上の結果から、転倒時に例えば大腿四頭筋力が働くことによって¹⁸⁾、転倒時の大腿骨頸部骨折が防止できる可能性がある。もちろん転倒→骨折に至る時間は非常に短く、大脳を介した筋収縮では間に合わないかもしれない。伸張反射が骨折を防止する可能性がある。

Svanström 等は骨折予防における筋の作用の重要性を説いている¹⁹⁾。転倒・骨折の防止に対して筋は2つの大きな役割を果たしていると考えられてきた。1つは転倒しないようにバランスを保つ働きであり、1つは転倒エネルギーの吸収である。そしてここに筆者は第3の役割を考えたい。すなわち応力拡散の働きである。Pinilla 等は、転倒が骨折に結びつく一番重要な要因は転倒時の衝撃の加わる方向であり、骨密度には無関係であるとした²⁰⁾。

もちろん、筋自体はバネとして働くことができ、転倒時の衝撃エネルギーの一部を吸収できるが、更に筋は大腿骨頸部の応力集中を分散させる働きがある可能性がある。筋は直列バネ (SEC)、並列バネ (PEC) と収縮要素 (CC) から構成されている。従って、筋は非活動状態でもバネとして働くことができる。しかし、筋力 F_{muscle} を直接計測することは困難な状況にある。新しい筋力計測方法が必要である。

2.5. 骨の動特性

先に図8に示したように、外力 F_{extern} と筋力 F_{muscle} を知ることで負荷 F を知ることができる。しかし、この骨への負荷 F がどのように骨折に結びつくのかを知らなければならぬ。有限要素法はこの解析に有用な手段となる²¹⁻²⁶⁾。Nakamura 等は図11に示すより詳細な骨折のモデルを提案している¹³⁾。

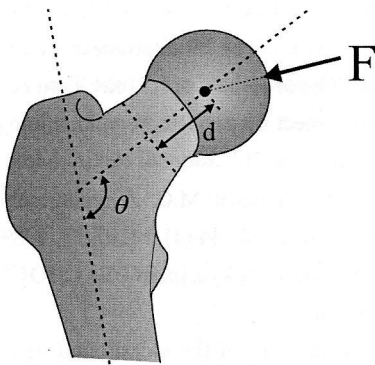


図11. 骨の強度計算に必要なパラメータ (文献13より改編)

このモデルによると、曲げモーメント M は式2) で与えられる。ここに、 d は外力 F の作用点と頸部の最も半径の小さい点の間の距離である。この式が示すように、曲げモーメントが大きくなるため、この距離 d が短いほど大腿骨頸部は骨折に対して強度を持つ。

$$M = F \cdot d \cos(180^\circ - \theta) \quad [\text{N} \cdot \text{mm}] \quad 2)$$

式3) は圧縮力を示す。ここに θ は頸傾角であり、この式が示すように、この角度が小さい程、圧縮力が大きくなり、頸部は折れやすくなる。一方、頸傾角はほぼ 120° 付近に値を持つため、式2) に示されるように、この範囲では曲げモーメントに対する頸傾角の θ の影響は小さい。

$$F_c = F \sin(180^\circ - \theta) \quad [\text{N}] \quad 3)$$

以上を用いた骨折インデックスを式4) に示す。ここに y は重心点から頸部表面までの断面距離、 $CSMI$ は断面慣性モーメント、 CSA は断面積、 YS_c は頸部強度を示す。換言すると、この骨折インデックス FI は (最大骨強度) / (骨への負荷) 比を表している。従って、インデックス FI が1.0に近づくと、骨折が発生し、 FI が大きな値をとる程、骨折が起こりにくくなることになる。Nakamura 等は日本の女性とアメリカ (白人) の女性の骨折インデックスを計算し、アメリカ女性では1.0、日本女性では1.4であると報告している¹³⁾。この結論は日本人の方が骨折に至り難い事実と一致している。

$$FI = \frac{YS_c}{\frac{M \cdot y}{CSMI} - \frac{F_c}{CSA}} = \frac{YS_c}{\frac{F \cdot d \cdot y \cos(180^\circ - \theta)}{CSMI} - \frac{F \sin(180^\circ - \theta)}{CSA}} \quad 4)$$

$$= \frac{YS_c \cdot CSMI \cdot CSA}{F} \cdot \frac{1}{y \cdot d \cdot CSA \cos(180^\circ - \theta) - CSMI \sin(180^\circ - \theta)}$$

白人と比較して日本人あるいはアジア人に頸部骨折が少ない理由を説明するための多くの研究がある²⁷⁻³²⁾。この骨折インデックスが大きな値を有する理由は、アジア人の頸部が短いためであるとする以上の説明もその1つである。

しかし、これらの研究には問題がある。モデルが静的なものであり、外力 F の加わり方、軟部組織の影響、筋力の影響などが一切考慮されていないことである。例えば、白人と日本人では、生活スタイルが大きく異なる。日本人の畳生活における立ち座り、和式トイレにいけないしゃがみ込み姿勢は下肢の筋力低下の防止に役立つだけでなく、転倒時の筋力発揮による骨内応力拡散も期待できる。一方、白人は椅子生活が基本であり、明らかに転倒時の筋の働きは期待できない。このように、生活スタイルの違いが転倒 / 骨折の比率の違いに現れたとも考えられる。

3. 考察

以上の転倒から大腿骨頸部骨折に至る各々の要因相互の関係を図12にまとめた。図の見方は、外側の老化によ

て、内側の骨粗鬆症、筋力低下などが顕著になり、その結果が、更に内側のバランス機能低下、転倒時の筋力発揮を抑制する、というように要因間の関連を示している。図中の黒矢印は、効果の促進を表し、白抜き丸矢印は抑制を表す。

この図が示すように、大腿骨の頸部骨折に至るまでには多くの要因が関係しており、どれか1つの要因を阻止することで、骨折を予防することができることが分かる。例えば、米国では頸部骨折を予防するために出来るだけ日常生活における活動量を抑えることを推奨しているが、これは活動量低下によって、転倒抑制効果が見られるとの結果に従ったものだと考えることができる。逆にヨーロッパ、日本で盛んに行われている転倒予防体操に関しては、運動神経機能の低下の防止以外にも、筋力低下の抑制に効果があり、結果として、転倒しても大腿骨頸部への応力集中を抑制する効果が期待出来ると理解することができる。いずれにしても、図12の転倒/骨折メカニズムモデルを更に精密かつ定量化することによって、より転倒/骨折予防効果を上げることが可能となると考えられる。

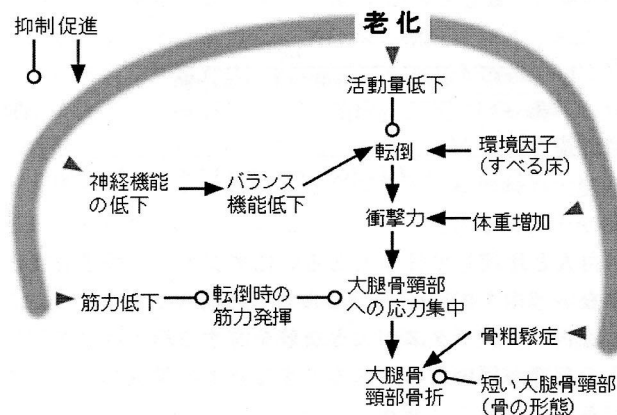


図12. 転倒/骨折に影響する要因分析

4. おわりに

以上のように、現状では高齢者の転倒と骨折をバイオメカニカルな手段で解析するには情報が十分ではない。少なくとも下記のような研究が更に必要である。

- 1) 白人(例えば骨折が家庭内事故死の1位であるスウェーデン人)とアジア人(例えば日本人)の間での共通の実験デザインを用いた計測実験: 種々の死因の定義が両国で異なっている。この定義の違いが影響している可能性もある。また、日本では統一的な統計がない。
- 2) 高齢者の転倒方法に関する研究: 今の所、転倒の仕

方に関する正確な報告はない。

- 3) 高齢者の神経-筋系の特性に関する研究: 高齢者の神経-筋特性が骨折の予防に大きな影響を与えるのであれば、神経-筋機能の低下が骨粗鬆症以外の骨折の原因として考えられる。伸張反射機能の低下など、高齢者の神経-筋系の機能に関する研究が必要である。
- 4) 有限要素法を用いた骨折条件に関する研究: この研究に関しては死体を用いた骨強度に関する研究成果が役に立つであろう^{33,34)}。
- 5) ヒトを使った筋機能有無の状態での転倒実験: Robinovitch等は示唆的な実験を行っている²⁸⁻³¹⁾。

謝辞

本稿は、立命館大学学外研究制度の助成によって、2001年9月-2002年1月にカロリンスカ研究所(スウェーデン)・客員研究員として派遣された期間、同公衆衛生学部のLeif Svanström教授と共に行った共同研究成果をまとめたものである。立命館大学、Svanström教授に深謝する。

参考文献

- 1) <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/tokusyufuryo10/01.html>
- 2) Cummings, S.R. & Nevitt, M.C.: Non-skeletal determinants of fractures: the potential importance of the mechanics of falls. Study of Osteoporotic Fractures Research Group, Osteoporos.Int., 4 Suppl 1:67-70, 1994
- 3) Dequeker, J., et al.: Relative risk factors for osteoporotic fracture; A pilot study of the MEDOS questionnaire, Clin. Rheumatology, 10 (1), 49-53, 1991.
- 4) Dequeker, J., et al.: The Mediterranean osteoporosis (MEDOS) study questionnaire, Clin. Rheumatology, 10 (1), 54-72, 1991.
- 5) Allander, E., et al.: The Mediterranean osteoporosis study (MEDOS): Theoretical practical issues of a major international project on hip fracture epidemiology, Bone, 14, S37-S43, 1993.
- 6) Cummings, S.R. & Nevitt, M.C.: A hypothesis: the causes of hip fractures, J. Gerontol., 44 (4): M107-11, 1989
- 7) <http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2001/06/60B6L100.HTM>
- 8) Mano, I., et al.: Fall of the elderly and its prevention (in Japanese), Ishiyaku press, 1999.
- 9) http://www.tmig.or.jp/J_TMIG/fukyu/kozakako/49/4903.html
- 10) Cassell, E. Lee, C.: Prevention of falls injuries among older community-dwelling Victorians, Hazard, 45, 2000
- 11) Pavol, M.J., Owings, T.M., et al.: Mechanisms leading to a fall from an induced trip in healthy older adults, J. Gerontol.

- A.Biol.Sci.Med.Sci., 56 (7) :M428-37, 2001
- 12) Hsiao,E.T. & Robinovitch,S.N.: Common protective movements govern unexpected falls from standing height, J.Biomech., 31 (1) :1-9, 1998
- 13) Nakamura,T., Turner,C.H., et.al.: Do variations in hip geometry explain differences in hip fracture risk between Japanese and white Americans? J.Bone Mineral Res., 9 (7), 1071-1076, 1994.
- 14) Farahmand,B.Y., Michaelsson,K., et.al: Body size and hip fracture risk, Epidemiol., 11 (2), 214-219, 2000.
- 15) Gardner,T.N., Simpson,A.H., et.al.: Measurement of impact force, simulation of fall and hip fracture, Med.Eng.Phys., 20 (1) :57-65, 1998
- 16) <http://www.lwc-eirec.go.jp/defaultE.htm>
- 17) 牧川方昭, 吉田正樹 : 運動のバイオメカニクス、コロナ社、2008
- 18) Lipsitzm,L.A., Nakajima,I., et.al.: Muscle strength and fall rates among residents of Japanese and American nursing homes: An international cross-cultural study, J.Am.Geriatrics Soc., 42, 953-959, 1994.
- 19) Svanström,L., Ader,M., et.al.: Preventing femoral fractures among elderly: The community safety approach, Safety Science, 21, 239-246, 1996.
- 20) Pinilla,T.P., Boardman,K.C., et.al.: Impact direction from a fall influences the failure load of the proximal femur as much as age-related bone loss, Calcif.Tissue.Int., 58 (4) :231-5, 1996
- 21) Keyak,J.H., Skinner,H.B., et.al.: Effect of force direction on femoral fracture load for two types of loading conditions, J.Orthop.Res., 19 (4) :539-44, 2001
- 22) Keyak,J.H.: Improved prediction of proximal femoral fracture load using nonlinear finite element models, Med. Eng.Phys., 23 (3) :165-73, 2001
- 23) Keyak,J.H. & Rossi,S.A.: Prediction of femoral fracture load using finite element models: an examination of stress- and strain-based failure theories, J.Biomech., 33 (2) :209-14, 2000
- 24) Keyak,J.H., Rossi,S.A., et.al.: Prediction of femoral fracture load using automated finite element modeling, J. Biomech., 31 (2) :125-33, 1998
- 25) Lotz,J.C., Cheal,E.J., et.al.: Fracture prediction for the proximal femur using finite element models: Part I--Linear analysis, J.Biomech.Eng., 113 (4) :353-60, 1991
- 26) Lotz,J.C., Cheal,E.J., et.al.: Fracture prediction for the proximal femur using finite element models: Part II--Nonlinear analysis, J.Biomech.Eng., 113 (4) :361-5, 1991
- 27) Ross,P.D., Norimatsu,H., et.al.: A comparison of hip fracture incidence among native Japanese, Japanese Americans, and American Caucasians, Am.J.Epidemiol., 133 (8), 801-809, 1991.
- 28) Orimo,H., Hashimoto,T., et.al.: Trends in the incidence of hip fracture in Japan, 1987-1997; The third nationwide survey, J.Bone Miner.Metab., 18, 126-131, 2000.
- 29) Davis,J.W., Ross,P.D., et.al.: Incidence rates of falls among Japanese men and women living in Hawaii, J.Clin.Epidemiol., 50 (5), 589-594, 1997.
- 30) Lauderdale,D.S., Jacobsen,S.J., et.al.: Hip fracture incidence among elderly Asian-American populations, Am.J.Epidemiol., 146 (6), 502-509, 1997.
- 31) Suzuki,T., et.al: Case-control study of risk factors for hip fractures in the Japanese elderly by a Mediterranean osteoporosis study (MEDOS) questionnaire, Bone, 21 (3), 461-467, 1997.
- 32) Ross,P.D. & Huang,C.: Hip fracture incidence among Caucasians in Hawaii is similar to Japanese. A population-based study, Aging Clin.Exp.Res., 12, 356-359, 2000.
- 33) Courtney,A.C., Wachtel,E.F., et.al.: Age-related reductions in the strength of the femur tested in a fall-loading configuration, J.Bone.Joint.Surg.Am., 77 (3) :387-95, 1995
- 34) Courtney,A.C., Wachtel,E.F., et.al.: Effects of loading rate on strength of the proximal femur, Calcif.Tissue.Int., 55 (1) :53-8, 1994