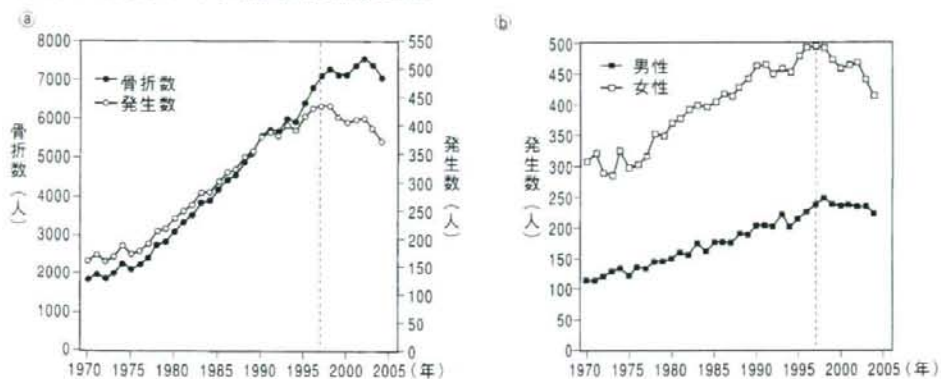


図4 1970～2004年までのフィンランドにおける50歳以上の大腿骨頸部骨折

①：骨折者数と粗発生率(対10万人)。  
 ②：年齢補正発生率(対10万人)。  
 先回(1997年)のレポートでの報告を縦の点線で示す。



いまだ上昇傾向にある。

しかし、世界においては骨粗鬆症治療の成果により骨折予防効果が報告されている。福祉医療先進国であるフィンランド<sup>9)</sup>では、1970年から増加していた大腿骨頸部骨折が1997年の10万人対438名をピークに、2004年には374名に減少している(図4)。さらに、カナダ<sup>10)</sup>においても、1992年から増加していた大腿骨頸部骨折が1997年より減少してきて、2005年には10万人対331名になっている。この理由はまだ不明であるが、骨粗鬆症を克服し、「脆弱性骨折」の予防に成功すれば、寝たきりに対する介護の必要はなく、自立した生活を可能な限り長く保つアンチエイジングといえるだろう。

#### ◆文 献◆

- 1) 大臣官房統計情報部社会統計課国民生活基礎調査室：国民生活基礎調査。http://www.dbtk.mhlw.go.jp/IPPAN/ppar/scm\_k\_ichiran
- 2) 折茂 肇，坂田清美：第4回大腿骨頸部骨折全国頻度調査成績－2002年における新発症患者数の推定と15年間の推移。日本醫事新報，4180：25-30，2004。
- 3) 折茂 肇編：骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2006年版。ライフサイエンス出版，東京，2006，p4-6。
- 4) 藤原佐枝子：骨粗鬆症の有病率－どの部位の骨密度を使うか－。新時代の骨粗鬆症学。日本臨牀，65(増刊9)：117-120，2007。
- 5) NIH Consensus Development Panel：Osteoporosis prevention, diagnosis, and Therapy. JAMA, 285：785-789，2001。
- 6) Prevention and Management of Osteoporosis. Report of a WHO scientific group. WHO Technical Report Series 921, 2003. http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO\_TRS\_921.pdf
- 7) 折茂 肇：骨粗鬆症診療の最近の動向。新時代の骨粗鬆症学。日本臨牀，65(増刊9)：1-19，2007。

- 8) 折茂 肇(主任研究者)：骨粗鬆症性骨折の実態調査および全国的診療データベース構築の研究。厚生労働省長寿科学総合研究事業，平成18年度研究報告書，2007。
- 9) Kannus P, Niemi S, Parkkari J, et al : Nationwide decline in incidence of hip fracture. J Bone Miner Res, 21 : 1836-1838, 2006.
- 10) Jaglal SB, Weller I, Mamdani, et al : Population trends in BMD testing, treatment, and hip and wrist fracture rates: Are the hip fracture projections wrong? J Bone Miner Res, 20 : 898-905, 2005.

### アンチエイジングの輪

長野の農村地域で診療していると、「畑の面倒をみなくてはならない」となかなか医療機関に受診しなかったり、重症であっても入院を拒否して帰ろうとしたりする高齢者に遭遇する。そういう彼らは、実に生き生きとしているのである。自分が世話をしなくてはならないという責任と必要に迫られて身体を動かし、働いていると、「高齢であること」を意識することもなく、歳を重ね、幸せな終焉のときを迎えることができるのかもしれない。彼らは、腰が「く」の字に曲がっていても、膝がひどい「O」脚であっても、今日も元気に愛車を押しながら、畦道を歩き、草むしりをしているのである。

## (ヒッププロテクターなどの装具を含む)

Exercise (included Hip protector etc.)

奥泉 宏康・原田 敦

Hiroyasu Okuzumi(所長)/東御市立みまき温泉診療所

Atsushi Harada(部長)/国立長寿医療センター機能回復診療部

メタ分析において、骨粗鬆症に対する運動療法は、腰椎および大腿骨頸部骨密度を1%ほど増加させ、バランス能力を改善して転倒を予防することにより骨折予防に有効であることが示されている。しかし、運動の種類や頻度に関しては検討が必要である。一方、軟骨病変である変形性関節症に関しては運動が有効であるという報告がみられ、荷重面に負担が少ない水中運動の有効性も報告されているが、評価法の客観性は乏しい。

大腿骨頸部骨折を予防するためのヒッププロテクターは、施設入居高齢者での有効性が認められているが、一般地域住民での有効性には乏しく、より装着率の高いヒッププロテクターの開発が望まれる。変形性関節症に対しては膝外反装置や足底外側ウェッジソールが有効との報告があるが、これも今後の検討に課題が残る。

key words

骨粗鬆症  
変形性関節症  
運動療法  
装具療法  
ヒッププロテクター

## 運動による骨密度増加

骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2006年版<sup>1)</sup>によれば、骨粗鬆症に対する運動の励行は、骨量低下を防止し、骨量の維持・増加および骨折防止に対して有効であり、実行を勧める「グレードB」としている。その根拠として、1999年の Wolff ら<sup>2)</sup>が行った閉経前および閉経後の女性を対象とした18 RCT (ランダム化比較試験)のメタ分析により、腰椎および大腿骨頸部骨密度が年間0.9%ほどの増加を示したこと、2000年の Wallace ら<sup>3)</sup>が行った閉経後女性のみを対象とした15 RCTのメタ分析により、腰椎骨密度が衝撃荷重運動で1.6%、衝撃非荷重運動で1.0%、大腿

骨頸部骨密度が衝撃荷重運動で0.9%、衝撃非荷重運動で1.4%の変化を認めたと、を列挙している。さらに、2002年の Cochrane Systematic Review<sup>4)</sup>における18 RCTの検討において、エアロビクスや荷重運動、抵抗運動による腰椎骨密度増加効果が示され、歩行で腰椎骨密度が1.31%、大腿骨頸部骨密度が0.92%増加していることからすれば、運動には骨密度増加効果があり、高齢者に対してはジャンプなどの衝撃荷重運動を行わなくても、散歩の励行を勧めるだけでも少ないながら効果はあるといえよう。

## 運動による転倒予防

大腿骨頸部骨折など骨粗鬆症と関連する高齢者の骨折では、骨脆弱性に加えて、転倒が90%以上関連している。したがって、バランス能力を改善<sup>5)</sup>させて転倒を減少させれば、骨折を予防する効果につながる。ただし、2003年の Cochrane Systematic Review<sup>6)</sup>でも、家庭で専門のスタッフにより個別指導を行った3 RCTでは20%の有意な転倒減少がみられているものの、グループ指導による筋力増強やバランス訓練、歩行指導を行った9 RCTでは9%の転倒減少を認めるものの、有意差は認められていない。現在のところ、転倒予防が期待できる運動の種類とし

ては、RCTにおいて49%の減少を認めた太極拳が有効であるが、その他は総合的に筋力強化、ストレッチング、エアロビクスなどを組み合わせ、休憩を十分に取った上での2時間ほどの運動を週2~3回行うことが勧められる。

### 運動と変形性関節症

1999年のSystematic Review<sup>7)</sup>において、軽度から中等度の変形性膝関節症に対する疼痛や自己記入式機能評価に関しては軽度の改善効果が認められている。しかし、変形性股関節症に関しては、有意な効果は認められていない。また、関節への荷重負荷軽減を考慮した水中運動に関しては、800名の変形性膝関節症と変形性股関節症を統合した6 RCT<sup>8)</sup>において、機能評価が軽度から中等度の改善を示し、疼痛に関しては相対的であるが6.6%軽減させたことが認められている。特に変形性膝関節症に関しては、1 RCTにおいて陸上運動に対して22%の有意な疼痛軽減が示されている。

しかし、変形性関節症に対する運動効果の研究は、アウトカムが自覚症状や歩行能力などの客観性に欠ける評価であるため、あまり多く行われていない。今後は、MRIを使用した軟骨量測定などの定量的かつ客観的な評価方法による検討が求められる。

### 高齢者に対する運動の問題点と将来

先述の骨密度や変形性関節症に対する運動効果についての科学的な根拠を

確認するためのRCTは、ほとんどが平均年齢70歳以下であり、高度な骨粗鬆症により多発脊椎圧迫骨折を生じている高齢者に対して、安全に運動を指導できるだろうか？ Sinaki<sup>9)</sup>らの有名な脊椎圧迫骨折を生じた高齢者に背筋強化訓練を行い、新規脊椎骨折の発生を減少させたという報告はあるが、50台半ばの女性に対する介入試験であり、亀背になった高齢者に対する安全で有効な運動の検証はまだない。

一方、自分自身で運動が困難な高齢者に対しては、受動的ではあるが、立位で振動を与えることによる骨密度増加効果が期待されている。2003年のKannus<sup>10)</sup>が行ったRCTでは、8カ月の運動介入により、CTXやTRAPの骨吸収マーカーは6%程度低下しているが、骨密度は早期であるため変化は認められていない。

### ヒッププロテクターによる 大腿骨頸部骨折予防効果

大腿骨頸部骨折の90%以上が転倒の際に発生していることから、大転子部への衝撃を低下させることは骨折予防に有効である。このため、硬性・軟性の各種ヒッププロテクターが開発され、RCTによる有効な報告がみられた。しかし、Cochrane Systematic Review<sup>11)</sup>では、施設入居の高齢者を対象に施設ごとにクラスター化した6 RCTにおいて、25%骨折リスクを低下させた。しかし、個別ごとの5 RCTでは骨折リスクは低下したものの有意ではなく、2 RCTではむしろ骨折率が高いとい

う報告もある。また、一般地域在住高齢者に対する3 RCTでは、有意差は認められておらず、むしろヒッププロテクターを装着し、活動性の高くなった高齢者に骨折が多かったという試験もみられた。

ヒッププロテクターの課題は、装着の受け入れと継続、および力学的性能に対する評価法に共通の基準がないことである。過去の研究からは、装着を受け入れる率が37~72%<sup>12)</sup>、継続的装着率が20~92%とばらつきがみられた。その装着率の低さの主な原因としては、臀部への密着性が高く、脱着動作が煩雑なことや皮膚発疹が生じやすいことなどである。特に、硬性ヒッププロテクターでは、就寝時の異物感が強い。現在、骨折予防効果を落とさずに履き心地を高めるための、エアクッション型などの新しいヒッププロテクターが多く研究開発中である。

### 変形性膝関節症に対する 装具療法<sup>13)</sup>

変形性膝関節症に対しては、2 RCTにおいて、膝を外反してアライメントを矯正するブレースが痛みや機能評価点数について6ヵ月間の検討を行ったところ、有効性が示され、1年間の検討では歩行距離に関して有効であった。また、足底外側ウエッジインソールに関しても、3 RCTが行われており、NSAIDsの使用が有意に低下したという報告がある。両者とも、研究数が少なく、今後さらに有効性の検証が必要であろう。

## 文献

- 1) 折茂 肇, 他: 骨粗鬆症の一般的な治療: 運動指導. 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2006年版. 東京, ライフサイエンス出版: 67-69, 2006
- 2) Wolff I, van Croonenborg JJ, Kemper HCG, et al: The effect of exercise training programs on bone mass: a meta-analysis of published controlled trials in pre- and postmenopausal women. *Osteoporos Int* **9**: 1-12, 1999
- 3) Wallace BA, Cumming RG: Systematic review of randomized trials of the effect of exercise on bone mass in pre- and postmenopausal women. *Calcif Tissue Int* **67**: 10-18, 2000
- 4) Bonaiuto D, Shea B, Negrini S, et al: Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *Cochrane Database Syst Rev* (2): CD000333, 2002
- 5) Howe TE, Rochester L, Jackson A, et al: Exercise for improving balance in older people. *Cochrane Database Syst Rev* (4): CD004963, 2007
- 6) Gillespie LD, Gillespie WJ, Robertson MC, et al: Interventions for preventing falls in elderly people. *Cochrane Database Syst Rev* (3): CD000340, 2003
- 7) van Baar ME, Assendeleff WJJ, Dekker J, et al: Effectiveness of exercise therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *Arthritis Rheum* **42**: 1361-1369, 1999
- 8) Bartels EM, Lund H, Hagen KB, et al: Aquatic exercise for the treatment of knee and hip osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev* (4): CD005523, 2007
- 9) Sinaki M, Itoi E, Wahner HW, et al: Stronger back muscles reduce the incidence of vertebral fractures: A prospective 10 year follow-up of postmenopausal women. *Bone* **30**: 836-841, 2002
- 10) Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, et al: Effect of 8-month vertical whole vibration on bone, muscle performance, and body balance: A randomized controlled study. *J Bone Miner Res* **18**: 876-884, 2003
- 11) Parker MJ, Gillespie WJ, Gillespie LD: Hip protectors for preventing of hip fractures in older people. *Cochrane Syst Rev* (3): CD001255, 2005
- 12) van Schoor NM, Deville WL, Bouter LM, et al: Acceptance and compliance with external hip protectors: A systematic review of the literature. *Osteoporos Int* **13**: 917-924, 2002
- 13) Brouwer RW, Jakma TSC, Verhagen AP, et al: Braces and orthoses for osteoarthritis of the knee. *Cochrane Database Syst Rev* (1): CD004020, 2005

## 奥泉 宏康(Hiroyasu Okuizumi)

昭和61年 名古屋大学医学部卒業, 東京厚生年金病院, 国立療養所中部病院, 国立長寿医療センターを経て, 現職に至る。2001年米国, ミシガン大学バイオメカニクス教室に1年間留学し転倒のバイオメカニクスを研究。主な研究対象は, ヒッププロテクター, 転倒予防教室, ビタミンDによる転倒予防。



## THE BONE に対するコメント

編集委員の先生方の最新トピックに対する適切な特集設定で, EBMに基づいた情報を容易に得ることができる上質な骨代謝関連医学雑誌だと思います。

## ビタミンDと転倒

奥泉宏康\*

ビタミンDは軽度の骨密度増加効果と転倒予防効果により高齢者の脊椎圧迫骨折や大腿骨頭部骨折などの非脊椎骨折も予防する効果がある。ビタミンDが骨密度ばかりでなく骨構造を改善させ、骨格筋の発育・合成に関与し、中枢神経において細胞変性を予防することによって、総合的にバランス能力を向上させ、転倒予防に寄与している可能性がある。

**Key words** ビタミンD, 転倒予防, 骨折予防, 筋肉, 神経

### はじめに

ビタミンDは「骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2006年版」<sup>1)</sup>によれば、骨密度増加効果に対しても、骨折予防効果に対しても、推奨に値するグレードBの評価を得ている。ビスフォスフォネート製剤が年間平均4%の骨密度増加を示すのに対して、ビタミンDの場合には、腰椎で年間平均約0.6%、大腿骨頭部で約1.2%程度の増加である<sup>2)</sup>。しかし、脊椎圧迫骨折のみならず、非脊椎圧迫骨折にまで予防効果を示す理由の1つとして、ビタミンDには骨軟化症治療で得られた筋力を向上させ、転倒を予防する効果があるのではないかと考えられている。疫学のおよび基礎研究から、ビタミンDと転倒に関する現在の見解を詳述する。

### ビタミンD不足と骨折

英国のGallagherら<sup>3)</sup>の2005年の調査によれば、60歳以上の大腿骨頭部骨折患者553名(平均年齢80.5歳)の92.7%が、ビタミンDの栄養状態を評価する25(OH)D濃度が50nmol/L(20ng/mL)未満であったという(図①)。一般に、加齢に伴い25(OH)D濃度は低下してくるが(図②)<sup>4)</sup>、年齢を考慮してもこの場合にはビタミンD不足と考えるだろう。また、同じ英国のSahotaら<sup>5)</sup>の検討でも、大腿骨頭部骨折患者150名(平均年齢81.2歳)の68%が30nmol/L未満であると報告されており、大腿骨頭部骨折とビタミンD不足は関係があるといえるだろう。

### ビタミンDと骨折予防

2005年のコクランシステマティックレビュー<sup>6)</sup>では、10,376名の施設入居している虚弱高齢者に対するビタミ

\* OKUIZUMI Hiroyasu / 東御市立みまき温泉診療所

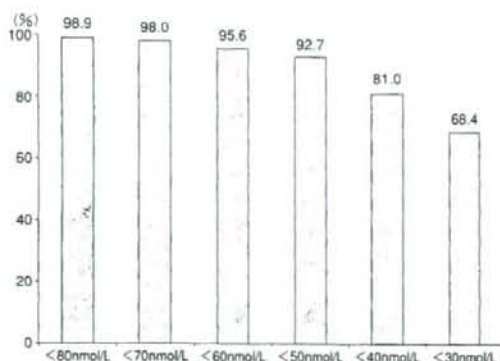


図1 大腿骨頸部骨折患者のビタミンD不足状態 (60歳以上, 553名)

大腿骨頸部骨折患者553名のうち、90%以上がビタミンD不足状態である25(OH)D濃度が50nmol/L未満であった。

(Gallagher SJ et al, 2005<sup>3)</sup>より引用)

VDの効果は、大腿骨頸部骨折を19%減少させ(相対危険率0.81; 95%信頼区間0.68~0.96)、非脊椎骨折を13%減少させるもの(相対危険率0.87; 95%信頼区間0.78~0.97)、脊椎骨折に関しては有意な効果を示していない。また、同じく2005年のBischoff-Ferrariら<sup>1)</sup>は、9,294名の大腿骨頸部骨折患者と9,820名の非脊椎骨折患者を対象とした天然型ビタミンDによる骨折予防効果のメタ分析で、天然型ビタミンDの一日投与量が400単位では有意差はないが、700~800単位では大腿骨頸部骨折で26%(相対危険率0.74; 95%信頼区間0.61~0.88)、非脊椎骨折で23%(相対危険率0.77; 95%信頼区間0.68~0.87)の骨折減少を示している。

その後、2005年の英国におけるRECORD<sup>3)</sup>スタディーで、70歳以上の骨粗鬆症性骨折をもつ5,292名に対して、天然型ビタミンD800IU/日を投与したにもかかわらず、再骨折予防には有意な効果が認められなかった(相対危険率0.84; 95%信頼区間0.75~1.36)という報告や、2006年の米国におけるWHI(Women's Health Initiative)<sup>9)</sup>スタディーでの閉経後女性に対する天然型ビタミンD400単位/日の骨折予防効果が、平均基礎ビタミンD摂取量360IU/日であったにもかかわらず、9年間の追跡調査で全体の大腿骨頸部骨折のハザード比は0.88(95%信頼区間0.72~1.08)で有意な骨折予防効果が認められなかったという、ビタミンDの骨折予防効果に対して否定的な報告が相次いだ。

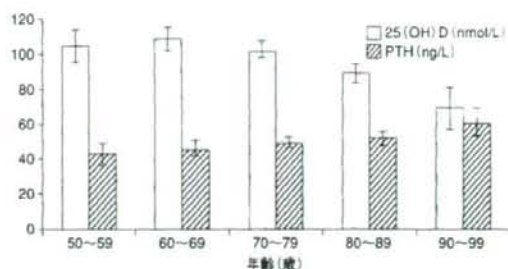


図2 加齢に伴う25(OH)DとPTHの変化

加齢に伴い、80歳から25(OH)Dは低下しはじめ、逆にPTHは上昇してくる。

(von Mühlén DG et al, 2005<sup>4)</sup>より引用)

しかし、2007年にBischoff-Ferrariら<sup>10)</sup>は、RECORDスタディーでの初期の25(OH)D濃度が38nmol/Lと低く、ビタミンD投与後でも62nmol/Lと低いために効果がなかったとの見解を述べている。また、WHIスタディーに対しては、ビタミンDの服用率の低さを指摘しており、80%以上ビタミンDを服用した群にかぎって検討すると、29%(相対危険率0.71; 95%信頼区間0.52~0.97)の有意な大腿骨頸部骨折の減少が認められている。結論として、天然型ビタミンDが骨折予防効果を示すためには、ビタミンDの充足状態を反映する血清25(OH)D濃度が75nmol/L(30ng/mL)以上になることが必要であり、そのためには、天然型ビタミンDを800~1000IU/日内服しなければならぬと結論付けている。この後はまだ大規模比較研究は行われていないので、今後の検証が必要である。

## ビタミンDと転倒予防

ビタミンDの転倒予防効果については、2004年にBischoff-Ferrariら<sup>11)</sup>が、表1に示すような3例の天然型ビタミンDと2例の活性型ビタミンDに対するメタ分析により、転倒を22%減少させた結論している(オッズ比0.78; 95%信頼区間0.64~0.92)。さらに、2005年のFlickerら<sup>12)</sup>はビタミンDの服用率がより高い場合には転倒予防効果が27%から37%に上昇することを示し、2006年のBischoff-Ferrariら<sup>13)</sup>は、とくに活動性の低い高齢女性で46%と転倒予防効果が高いことを報告している。

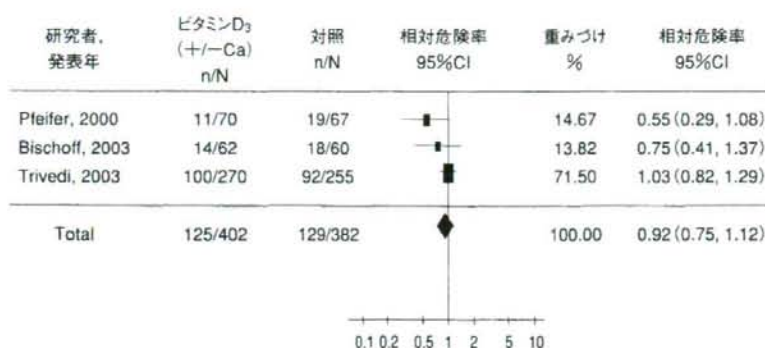
しかし、一方で、2004年のDhesiら<sup>14)</sup>は転倒経験のあ

表1 ビタミンDによる転倒予防効果

報告者、発表年	転倒発生のリスク	95%信頼区間	転倒の定義	参加人数	女性人数	対象	平均年齢	年齢層	観察期間	ビタミンDの量	転倒期間	転倒率	転倒率の差	25(OH)D値 (nmol/L)	25(OH)D値 (nmol/L)	転倒率の差 (%)	25(OH)D値 (nmol/L)
Graatmans, 1996	0.91	0.59-1.40	明確	354	302	歩行可能な施設入居者	83	70-	7M	天然型	400IU/日	-	-	-	-	-	-
Pfeifer, 2000	0.47	0.2-1.10	明確	148	137	歩行可能者 (2040<50nmol/L)	74	70-86	12M	天然型	800IU/日	1200mg	7%	25.7±20.9	40.5±27.0	7%	25.7±20.9
Gallagher, 2001	0.53	0.32-0.88	明確	489	246	地域在住者	72	65-77	36M	活性型	0.5µg/日	-	15%	74.8±29.0	55.5±24.5	15%	74.8±29.0
Bischoff, 2003	0.68	0.3-1.54	明確	122	122	施設入居者	85.3	63-99	3M	天然型	800IU/日	1200mg	28%	41.0±25.5	65.0±23.8	28%	41.0±25.5
Dukas, 2004	0.69	0.41-1.16	明確	378	191	地域在住者	75	70-	9M	活性型	1.0µg/日	-	13%	78.0±21.6	60.7±19.7	13%	78.0±21.6
カルシウム12mg以上	0.45	0.21-0.97	明確														
転倒定義の明確なRCT																	
Meta-analysis	0.78	0.64-0.92		1,237	998												
Bischoff-Ferrari HA et al, 2004 <sup>(1)</sup>																	
Larsen, 2002	0.88	0.79-0.98	条件基準	5,771	5,771	歩行可能者	74	66-103	42M	天然型	400IU/日	1000mg	42M	37±19	47±20	-	37±19
Trivedi, 2003	0.93	0.76-1.14	不明確	2,038	525	地域在住者	75	65-85	12M	天然型	90,000IU/週	-	60M	35%	72.0±22.5	35%	72.0±22.5
Latham, 2003	1.31	0.77-2.23	不明確	222	129	動機性の低い地域在住者	79	77-81	6M	天然型	300,000IU	-	1回	4%	42.5(40-48)	4%	42.5(40-48)
Chapuy, 2004	1.08	0.75-1.55	不明確	583	583	歩行可能な施設入居者	85	24M	24M	天然型	800IU/日	1200mg	24M	31%	21.3±20.9	31%	21.3±20.9
Hanwood, 2004	0.48	0.26-0.89	不明確	150	150	大腸骨頸部骨折経験者	81	67-92	12M	天然型	300,000IU/週	1000mg	12M	33%	29(6-85)	33%	29(6-85)
転倒定義の不明確なRCTを加えた10RCTのMeta-analysis	0.87	0.80-0.96		10,001	8,156												
Bischoff-Ferrari HA et al, 2004 <sup>(1)</sup>																	
Flicker L. et al, 2005 <sup>(2)</sup>	0.73	0.57-0.95	明確	625	593	施設入居者 (2<5040<5nmol/L)	83.4	-	24M	天然型	10,000IU/週	600mg	24M	42%	54%(25-40)*	42%	54%(25-40)*
服用率50%以上	0.63	0.48-0.82															
Bischoff-Ferrari HA et al, 2006 <sup>(3)</sup>	0.77	0.51-1.15	明確	445	246	地域在住者	65-	65-	36M	天然型	700IU/日	500mg	36M	28%	28.0±13.2	28%	28.0±13.2
活動性の低い女性	0.54	0.30-0.97															
男性	0.93	0.50-1.72															
Dhess JK et al, 2004 <sup>(4)</sup>	0.77	0.38-1.59	明確	139	108	地域在住者 (25-40nmol/L) に転倒経験者	76.6	65-	6M	天然型	600,000IU	-	1回	12%	26.8(26-28)	12%	26.8(26-28)
Forhouse J et al, 2005 <sup>(5)</sup>	0.98	0.79-1.20	不明確	3,454	3,454	大腸骨頸部骨折リスクのある女性	77	70-	12M	天然型	800IU/日	1000mg	6M	37%	44.0±13.6	37%	44.0±13.6

\*平均値ではなく、血清濃度が25-40nmol/Lの、対象者のしめる割合  
2004年にメタ分析をおこなったBischoff-Ferrari HA et al, 2004<sup>(1)</sup>より抜粋して、さらに、それ以降に発表されたRCTを加えてまとめた。





図③ 閉経後女性の天然型ビタミンDによる転倒予防効果

(Jackson *et al.*, 2007<sup>16)</sup>より引用)

る地域高齢者に対して、2005年のPorthouseら<sup>15)</sup>は大腿骨頸部骨折リスクのある高齢者に対して、それぞれ天然型ビタミンDの投与をおこなったが、有意な転倒減少が認められていない。さらに、2007年のJacksonら<sup>16)</sup>がおこなったカルシウム投与の有無を考慮した天然型ビタミンDのみでのメタ分析では、閉経後女性で転倒に有意差を認めていない(図③)。

骨折が病院受診記録からカウントできるのに対して、転倒の評価は、大規模な住民検診を計画せねばならない。さらに、転倒の報告を徹底することにより作作的なバイアスが加わってしまう。したがって、過大な時間と労力を必要とするため、大規模な比較研究が少ない。また、活性型ビタミンDの投与は血清25(OH)D濃度を改善させるばかりでなく、低下させる方向に作用することもあるので、Bischoff-Ferrariら<sup>10)</sup>の骨折予防に対する結論とは異なり、一概に25(OH)Dを上昇させれば効果を示すのかは検討されねばならない。

## 天然型ビタミンDと活性型ビタミンD

海外、とくに米国では天然型ビタミンDの使用が一般化しているので、活性型ビタミンDのランダム化比較研究の報告は少ない。しかし、Papadimitropoulosら<sup>17)</sup>によれば、非脊椎骨折に対する予防効果は、ビタミンD全体で23% (相対危険率0.77; 95%信頼区間0.57~1.04) に対して、活性型ビタミンDでは13% (相対危険率0.87; 95%信頼区間0.29~2.59) と有意といえないが、脊椎骨折

に対しては、ビタミンD全体で37% (相対危険率0.63; 95%信頼区間0.45~0.88)、活性型ビタミンDで36% (相対危険率0.64; 95%信頼区間0.44~0.92) と有意であった。これは、活性型ビタミンDは骨密度増加効果は小さいものの、骨梁の幅を大きくし、連結性を高めることが確認されており<sup>18)</sup>、骨構造を改善することで骨強度を増加させている可能性がある。

またRingeら<sup>19)</sup>は、アレンドロネートと天然型ビタミンD投与群に対して、アレンドロネートと活性型ビタミンD投与群で腰椎、大腿骨頸部いずれにおいても有意な骨密度増加効果を示し、2年間での新規骨折発生率が1/5に低下したと報告している(図④)。活性型ビタミンDの効果に関しては、世界的に消費量が高い日本での多施設大規模比較研究の結果が待たれる。

## ビタミンDと筋

ビタミンDの欠乏した病態である骨軟化症・くる病では、骨での石灰化障害にもとづく骨格変形や骨痛などの骨症状に加えて、易疲労性や近位筋優位の筋力低下・筋萎縮を呈する。病理組織では筋線維の大小不同や間質組織の増生あるいは脂肪変性・線維化が認められ、とくに速筋であるII型筋線維が四肢の近位で低下してくる<sup>20)</sup>。

同様に、ビタミンD欠乏ラットでも筋原線維内のアクチンやトロポニンCの減少が認められており、これは、ビタミンD投与により正常化する。さらにビタミンD欠乏チキンでも、ビタミンD投与によりミトコンドリア内

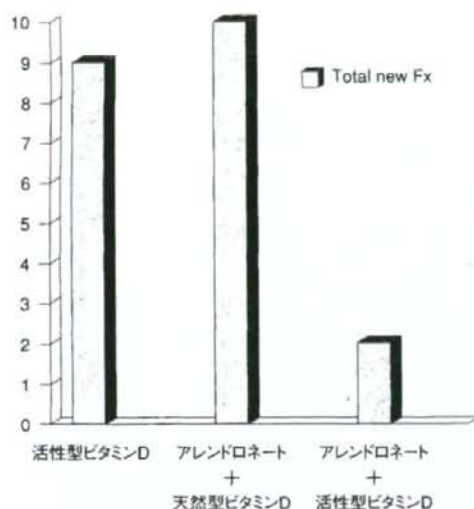


図4 アレンドロネート治療2年後の新規骨折発生数(脊椎骨折に非脊椎骨折も含む)  
天然型ビタミンDとアレンドロネートを併用した場合と比較して、活性型ビタミンDとアレンドロネートの併用により骨折が5分の1に減少していた。  
(Ringe JD et al, 2007<sup>23)</sup>より改変引用)

膜器質を50%まで、筋原性蛋白を20%まで、収縮性蛋白を10%まで増加させている。

ビタミンDの筋に対する作用は、カルシウム(Ca)やリン(P)の恒常性調節作用によるものでなく、ビタミンDレセプターが骨や腸管のみならず、横紋筋にも存在していることから、骨格筋への直接的な作用であると考えられている。それは、ビタミンDレセプターノックアウトマウスの実験において、母乳からのCaおよびPが充足している3週齢の授乳期マウスでは骨格異常は示していないにもかかわらず、野生型マウスに対して平均約20%の筋線維の縮小と大小不同<sup>21)</sup>が認められていたことが裏付けている。

## ビタミンDとバランス能力

Gerdhemら<sup>22)</sup>は、986名の歩行可能な女性について、25(OH)D濃度と下肢筋力とは有意な相関がみられないものの、歩行速度やバランステスト、活動性とのあいだでは有意な相関を示していると報告している。同様な結

果がWichertsら<sup>23)</sup>の979名の縦断研究において、25(OH)D濃度が75nmol/L以上の対象と比較して25nmol/L未満では歩行・椅子からの立ち上がり・継ぎ足歩行を含む身体機能で2倍の差が認められている。さらに、Bischoff-Ferrariら<sup>24)</sup>も、64名の施設入居高齢者に対して、3ヵ月間の天然型ビタミンD800IU/日の投与による検討において、25(OH)D濃度が41nmol/Lから61nmol/Lに改善し、筋力には有意差は認められないものの、体幹の姿勢制御で有意差が認められたと報告しており、ビタミンDには筋力増強効果のみでなく、神経筋コントロールを含めた改善の可能性も考えられている。

## ビタミンDと神経<sup>25)</sup>

脳にもビタミンDレセプターが、三叉神経や舌下神経、線条体や視床、視床網状体、小脳扁桃、海馬などのニューロンおよびグリア細胞に広く分布しており、血液脳関門を25(OH)D<sub>3</sub>や1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>が通過することが確認されている。1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>は神経成長因子や脳由来神経栄養因子の発現を誘導し、視床や海馬などの神経変性に関連するパーキンソン病やアルツハイマー病などの予防や治療に有効である可能性もある。また、ビタミンDがグルタミン酸サイクルに関与することによって、活性酸素を消去し、脳神経細胞死を防ぐ作用も示すと推察されている。また、ビタミンDレセプターノックアウトマウスでは、社交性や母性などの行動が低下し、ビタミンDが統合失調症のリスクファクターとなる可能性も示唆されている。

## ステロイド性骨粗鬆症とビタミンD

骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン<sup>1)</sup>では、ステロイド性骨粗鬆症に対する第1選択薬としてビスフォスフォネート製剤を強く推奨している。しかし、ビスフォスフォネート製剤の服用が困難な場合などに、実際の臨床現場では活性型ビタミンDを使用せざるを得ない場面に遭遇する。

Ringeら<sup>26)</sup>は204名のステロイド性骨粗鬆症患者に3年間の介入をおこない、天然型ビタミンDに比較して、活性型ビタミンD<sub>3</sub>では、脊椎において1.6%、大腿骨頸部

でも0.4%の有意な骨密度増加効果を示し、脊椎骨折で39%の予防が可能であった。さらに興味深いことには、de Nijsら<sup>27)</sup>の検討によれば、ステロイド性骨粗鬆症における椎体骨折防止効果が、骨密度の減少を抑制できない例でも認められているという事実である。これは、先の活性型ビタミンDにおいて、骨密度改善だけでなく、骨梁幅や連結性の増大も関与しているだろうが、転倒の頻度を検討してみると新知見が得られるかもしれない。

## おわりに

ビタミンDの転倒予防効果に関しては、疫学的にも基礎研究からも、肯定的な報告が多くみられている。さらに、アルツハイマー病やパーキンソン病に関与する可能性もあるにもかかわらず、実際の臨床現場では、適正なビタミンD充足状態にあるかを正確に把握できていない。さらに、活性型ビタミンDを使用した場合は、薬剤コントロールの指標も確定していない。今後は、ビタミンDによる重大な合併症である尿路結石症に注意を払いながら、個々の症例に適応したビタミンDの種類投与量および方法を模索していかなければならない。



## 文 献

- 1) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会：骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2006年版。ライフサイエンス出版。東京、2006、pp81-83
- 2) 奥泉宏康，原田敦：ビタミンDの骨密度・骨強度改善効果～骨折予防効果を含めて～。CLINICAL CALCIUM 16：1115-1121, 2006
- 3) Gallagher SJ, McQuillan C, Harkness M *et al* : Prevalence of vitamin D inadequacy in Scottish adults with non-vertebral fragility fractures. *Curr Med Res Opin* 21 : 1355-1361, 2005
- 4) von Mühlen DG, Greendale GA, Garland CF *et al* : Vitamin D, parathyroid hormone levels and bone mineral density in community-dwelling older women : the Rancho Bernardo Study. *Osteoporos Int* 16 : 1721-1726, 2005
- 5) Sahota O, Gaynor K, Harwood RH *et al* : Hypovitaminosis D and 'functional hypoparathyroidism' -the NoNoF (Nottingham Neck of Femur) study. *Age Ageing* 30 : 467-472, 2001
- 6) Avenell A, Gillespie WJ, Gillespie LD *et al* : Vitamin D and vitamin D analogues for preventing fractures associated with involutional and post-menopausal osteoporosis. *Cochrane Database Syst Rev* : CD000227, 2005
- 7) Bischoff-Ferrari HA, Willett WC, Wong JB *et al* : Fracture Prevention with Vitamin D supplementation : a meta-analysis of randomized controlled trials. *JAMA* 293 : 2257-2264, 2005
- 8) Grant AM, Avenell A, Campbell MK *et al* : Oral vitamin D<sub>3</sub> and calcium for secondary prevention of low-trauma fractures in elderly people (Randomized Evaluation of Calcium Or vitamin D, RECORD) : a randomized placebo-controlled trial. *Lancet* 365 : 1621-1628, 2005
- 9) Women's Health Initiative Investigators : Calcium plus vitamin D supplementation and the risk of fractures. *N Engl J Med* 354 : 669-683, 2006
- 10) Bischoff-Ferrari HA : How to select the doses of vitamin D in the management of osteoporosis. *Osteoporos Int* 18 : 401-407, 2007
- 11) Bischoff-Ferrari HA, Dawson-Hughes B, Willett WC *et al* : Effect of Vitamin D on falls : a meta-analysis. *JAMA* 291 : 1999-2006, 2004
- 12) Flicker L, MacInnis RJ, Stein MS *et al* : Should older people in residential care receive vitamin D to prevent falls? Results of a randomized trial. *J Am Geriatr Soc* 53 : 1881-1888, 2005
- 13) Bischoff-Ferrari HA, Orav EJ, Dawson-Hughes B : Effect of cholecalciferol plus calcium on falling in ambulatory older men and women : a 3-year randomized controlled trial. *Arch Intern Med* 166 : 424-430, 2006
- 14) Dhese JK, Jackson SH, Bearne LM *et al* : Vitamin D supplementation improves neuromuscular function in older people who fall. *Age Ageing* 33 : 589-595, 2004
- 15) Porthouse J, Cockayne S, King C *et al* : Randomized controlled trial of calcium and supplementation with cholecalciferol (vitamin D<sub>3</sub>) for prevention of fractures in primary care. *BMJ* 330 : 1003-1008, 2005
- 16) Jackson C, Gaugris S, Sen SS *et al* : The effect of cholecalciferol (vitamin D<sub>3</sub>) on the risk of fall and fracture : a meta-analysis. *QJM* 100 : 185-192, 2007
- 17) Papadimitropoulos E, Wells G, Shea B *et al* : Meta-analysis of the efficacy of Vitamin D treatment in preventing osteoporosis in postmenopausal women. *Endocr Rev* 23 : 560-569, 2002
- 18) Shiraishi A, Higashi S, Masaki T *et al* : A comparison of alfacalcidol and menatetrenone for the treatment of bone loss in an ovariectomized rat model of osteoporosis. *Calcif Tissue Int* 71 : 69-79, 2002
- 19) Ringe JD, Farahmand P, Schacht E *et al* : Superiority of a

- combined treatment of Alendronate and Alfacalcidol compared to the combination of Alendronate and plain vitamin D or Alfacalcidol alone in established postmenopausal or male osteoporosis (AAC-trial). *Rheumatol Int* 27 : 425-434, 2007
- 20) Glerup H, Eriksen ER : Chapter 102 Muscles and Falls. Vitamin D second edition. Elsevier Academic Press, Burlington, 2005, pp1805-1820
- 21) Endo I, Inoue D, Mitsui T *et al* : Deletion of vitamin D receptor gene in mice results in abnormal skeletal muscle development with deregulated expression of myoregulatory transcription factors. *Endocrinology* 144 : 5138-5144, 2003
- 22) Gerdhem P, Ringsberg KA, Obrant KJ *et al* : Association between 25-hydroxy vitamin D levels, physical activity, muscle strength and fractures in the prospective population-based OPRA study of elderly women. *Osteoporos Int* 16 : 1425-1431, 2005
- 23) Wicherts IS, van Schoor NM, Boeke AJ *et al* : Vitamin D status predicts physical performance and its decline in older persons. *J Clin Endocrinol Metab* 92 : 2058-2065, 2007
- 24) Bischoff-Ferrari HA, Conzelmann M, Stahelin HB *et al* : Is fall prevention by vitamin D mediated by a change in postural or dynamic balance? *Osteoporos Int* 17 : 656-663, 2006
- 25) 中川公恵 : ビタミンDと神経・筋. *CLINICAL CALCIUM* 16 : 1182-1187, 2006
- 26) Ringe JD, Dorst A, Faber H *et al* : Superiority of alfacalcidol over plain vitamin D in the treatment of glucocorticoid-induced osteoporosis. *Rheumatol Int* 24 : 63-70, 2004
- 27) de Nijs RN, Jacobs JW, Algra A *et al* : Prevention and treatment of glucocorticoid-induced osteoporosis with active vitamin D analogues : a review with meta-analysis of randomized controlled trials including organ transplantation studies. *Osteoporos Int* 15 : 589-602, 2004

#### おくいずみ・ひろやす

栗泉宏康 東御市立みまき温泉診療所

1986年名古屋大学医学部卒業, 東京厚生年金病院, 国立療養所中部病院, 国立長寿医療センターを経て, 現職に至る。2001年米国, ミシガン大学バイオメカニクス教室に1年間留学, ヒッププロテクター, 転倒予防教室, ビタミンDによる転倒予防などをおもに研究。

## 転倒・骨折のバイオメカニクス

奥泉 宏康\* 原田 敦\*\*

転倒をシミュレートすることにより、転倒方向や転倒時に生じる衝撃部位、荷重を見積もり、有効な転倒予防方法を提供することに役立つ。また、マイクロCT (computed tomography) を用いた3次元有限要素法により、実際に破壊試験を行わなくても、骨強度や骨特性を知ることが可能になった。

Muscle and Bone Health as a Risk Factor of Fall among the Elderly.

*Biomechanics of falling and fall-related fracture.*

Mimaki Onsen Clinic

Hiroyasu Okuizumi

National Center for Geriatrics and Gerontology, Department of Functional Restriction

Atsushi Harada

Simulation of fall can predict the fall direction, impact load and location. This is effective measure for preventing falls in the elderly. Also, the 3D-finite element analysis used in measuring by micro CT, allows one to estimate bone strength and quality without numerous and expensive fracture testing of real human bones.

### はじめに

医学と工学の境界領域であるバイオメカニクスは、実験室内で転倒をシミュレートすることにより、転倒時に生じる衝撃部位や荷重を見積もり、有効な転倒予防方法を考案することに役立っている。また、材料工学的手法を用いて、骨という生体材料の強度や特性を骨密度QCT (quantitative

computed tomography) を用いた有限要素解析により、実際に破壊試験を行わなくても、骨強度の評価が可能となってきた。

### 転倒のバイオメカニクス

転倒とは、「自分の意思からでなく、地面や床面など、より低い平面に接触すること」と米国の大

\* 東御市立みまき温泉診療所・所長 (おくいずみ・ひろやす)

\*\* 国立長寿医療センター機能回復診療部・部長 (はらだ・あつし)

規模転倒予防研究である FICSIT (Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques)<sup>11</sup>の中で定義されている。バイオメカニクス的には、バランスを崩して、体重心(center of gravity: COG)が、体を支える基底面(base of support: BOS)を逸脱し、倒れる許容限界(limits of stability: LOS)を超えて、体の一部または全部が接地することである。

Nashner<sup>21</sup>によれば、COGがLOSを超えてバランスを崩した場合には、まず足関節を中心にして下肢と上体を一体にしてバランスを取る Ankle Strategy を行う(図1)。次に、身体をくの字に曲げて Hip Strategy となり、最後には一歩足を踏み出してCOGが大きくLOSを超えてしまった場合の Stepping Strategy の3段階で転倒を避けようとするモデルが提唱されている。この理論によれば、バランス能力を改善させるためには、まず、足関節周囲の姿勢制御に寄与する下腿遅筋群を効果的に鍛えなければならない。

さらに、転倒をシミュレートすることは、骨折の発生機序を解明することに役立ち、高齢者の動作特性から外傷予防のための防御動作やトレーニング方法を提供することに役立つ。

転倒シミュレーションは、最初、意識的にマットに倒れ込む際の動作解析<sup>21-23</sup>から始まり、次第に、より自然な形での転倒を追及するために、無意識に転倒を発生させる方向に改善を重ねてきた。実験的転倒を発生させるための工夫としては、図2のように床板を傾斜させたり<sup>11</sup>、滑らせたりする方法<sup>24</sup>が行われている。Smeester<sup>25</sup>らは転倒様式による転倒の違いを検討し、歩行時に急にかかとを引いたり、段差に落ちたりという「つまづき動作」では前方転倒が多く、「滑って」転倒した場合には20~40%に側方転倒がみられ、その側方転倒時の30%ほどが大腿骨部を打撲していることを検証している。このことは、疫学的に側方転倒で大腿骨頭部骨折が多く、前方に転倒することにより手関節の骨折である橈骨遠位端骨

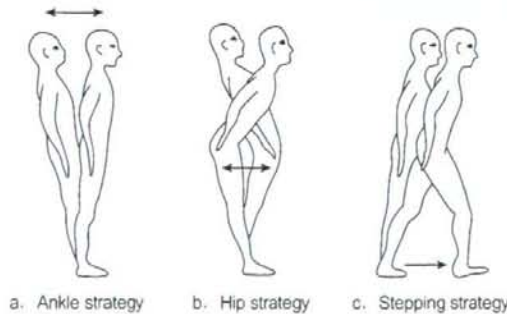


図1 Nashnerによる転倒予防戦略

軽度バランスを崩すと足関節でバランスを取るAnkle strategyに。さらには身体全体を動かすHip strategyに。最後にバランスの限界を超えると足を踏み出してStepping strategyになる。

(文献2より引用)

BOS: base of support (基底面), COG: center of gravity (体重心), CT: computed tomography, FICSIT: Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques, LOS: limits of stability (許容限界), OCT: quantitative computed tomography

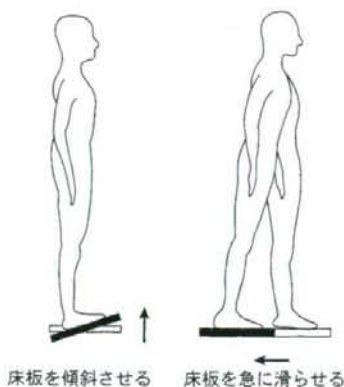


図2 転倒シミュレーションの方法

転倒をシミュレートするためには、支えである床板を傾斜させたり、滑らせたりして不安定な状態を作り出す。

(文献2より改変)

折が多いことを裏付けている<sup>7)</sup>。

また、転倒の危険因子として、高齢者の筋力低下やバランス能力の低下が指摘されているが、安全に十分配慮した上で、急に前方または後方に床板を移動させて転倒を誘発させた場合に、高齢者では63%に代償性のステップを踏み出していたが、若年者ではみられなかったという<sup>8)</sup>。また、身体を傾けた状態に固定して急に支えを解放した場合には、高齢者でも若年者でも踏み出しに500msほどかかるが、高齢者では反応時間が有意に8~10ms遅く、さらに踏み出しの速度が遅いことが確認されている。このことは、高齢者における転倒の原因として、特に大腿近位部の踏み出しが不十分で倒れやすいことを意味しており、加齢によるビタミンD (VD) 不足の場合にみられる近位筋の速筋であるII型線維が特に萎縮しているという事実<sup>10)</sup>を裏付けることになる。従って、高

齢者の転倒予防のための運動指導を行う際には、足関節周囲のゆっくりとした運動ばかりでなく、足を振り出すような速い動きのある運動を安全に取り入れることが有効であると結論付けられる。

また、立位からの転倒時衝撃荷重は、人体を図3に示すように吊り下げた状態から、安全に落下させた際の衝撃荷重と高さ、皮膚の厚さを測定し、その測定値より人体の弾性係数や粘弾性、皮膚厚の影響を計算することで、筋弛緩状態で5,600N (ニュートン)、筋緊張状態で8,600N<sup>11)</sup>という値を決定している。これは、大腿骨頸部骨折の骨単体での骨折荷重をQCTを使用して計算された778Nから4,093Nという値<sup>12)</sup>を上回っており、立位での転倒で容易に大腿骨頸部骨折が生じる裏付けとなっている。

この方法はさらに、従来、晒し骨大腿骨を用いて行われていた大腿骨頸部骨折予防のためのヒッププロテクターの性能試験<sup>13)14)</sup>を、より生体への影響を反映した形で評価させるために応用されている<sup>15)</sup>。

## 骨折のバイオメカニクス

有限要素法は、さまざまな形態の物質を小さな有限の要素に分割して、その各々の要素の頂点座標のベクトルを計算することにより応力ひずみを計算し、形態全体に及ぼす影響を評価する方法であるが、コンピューターの発展と共に急激に高度化してきた。

1991年に、Lotz<sup>16)</sup>らにより、立位時と転倒時をシミュレートした大腿骨頸部の有限要素数は667個であったが、CTの高解像度化が進み、2008年のVerhulst<sup>17)</sup>らのマイクロCTを用いた有限要素解析では、80 $\mu$ mの小さな要素で、骨梁の少ない骨粗鬆症患者でも72万個の要素による形態解析が行われるようになってきた。その結

VD: ビタミンD

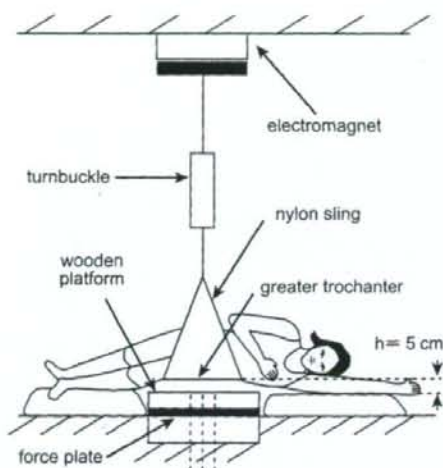


図3 Robinovitch による転倒時の衝撃荷重を求める実験  
被験者を天井から吊り下げ、圧力板にて衝撃荷重を測定する。

(文献 11 より引用)

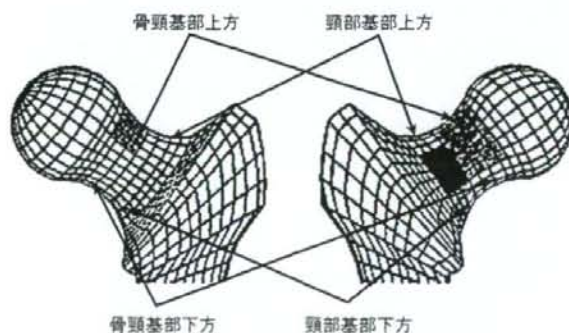


図4 有限要素法による大腿骨頭部骨折の圧縮ひずみの集中点

側方転倒をシミュレートした拘束・荷重条件により、大腿骨頭部後方陥凹部(■部)と骨頭基部上方(●部)にひずみの集中を認める。

(文献 19 より引用)

果、骨梁の微細構造まで忠実に再現が可能となり、側方転倒により大腿骨頭部骨折が生じる際に、図4に示すような頸部基部の後方陥凹部や骨頭基部上方に圧縮ひずみが集中することが確認されており、大腿骨頭部骨折の発生機序を解明する

一助となっている。

さらに、Majumderら<sup>18)</sup>は大腿骨のみでなく、骨盤や軟部組織まで組み合わせた有限要素モデルを作成し、田中ら<sup>19)</sup>は、マルチボディーモデルと有限要素モデルを組み合わせて、より実際の転倒



を忠実に再現する試みを行っている。

2001年のWHO (World Health Organization)の改訂により、骨粗鬆症は「骨強度の低下を特徴とし、骨折リスクが増大しやすくなる骨格疾患」とされ、BMDだけでなく、骨形態にも骨強度を反映されることが示されてきた。従って、図5のように大腿骨頸部BMDから、2次元の密度の違いを利用して自動的に3次元の再計算を行い、大腿骨頸部中心からの内部モーメントを求める<sup>20)</sup>ことにより、大腿骨頸部の骨強度をより正確に推計するHSA (hip strength analysis) プログラムが開発されている。このプログラムは、Takada<sup>21)</sup>らにより骨粗鬆症薬剤の効果判定にも利用されている。

また、脊椎圧迫骨折に関しても、QCTによる椎体の3次元有限要素モデルを作成し、さらに万能

試験機による実験による表面ひずみと対照して、その再現性も確認されている<sup>22)</sup>。こういった本来なら破壊試験を試行しなければ知り得なかった骨強度の評価が、非侵襲的にできるようになってきた。しかし、現在では有限要素モデルを作成するためには、高価なソフトと骨要素の切り出し作業に多大な労力を要するために、今後のさらなる改良が期待される。

## おわりに

実際の転倒を記録して解析するためには多大な時間と労力が必要となる。バイオメカニクスは転倒をシミュレートすることによって、転倒や高齢者のバランス能力の特性を明らかにしてきた。しかし、シミュレートはあくまでも現実の現象との相合性を高めることによって成立してくる。今後

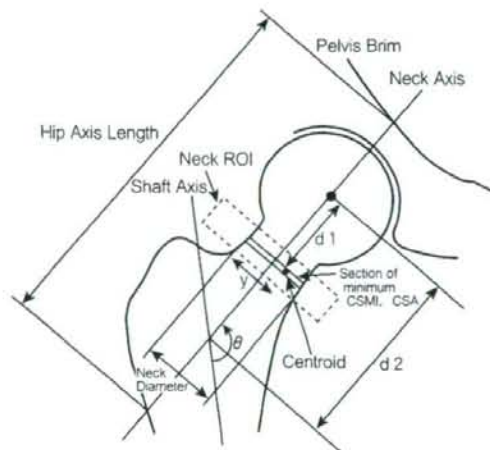


図5 HSAプログラムによる内因性モーメント

大腿骨頸部中心を決定し、中心からの距離とBMD濃度から3次元的に再構築し、内因性モーメントを求める。

CSA: cross sectional area (断面積), CSMI: cross-sectional moment of inertia (内因性モーメント)

(文献 20 より引用)

HSA: hip strength analysis, WHO: World Health Organization

さらに、医学と工学が相互の知力と技術を供出し、協力することによって、より正確な転倒の本質が解明されてくることであろう。

また、コンピューターの急速な進歩は、より高精細なマルチスライスCTの開発を加速させてきたように、有限要素モデルの作成にも貢献し、目の前にリアルタイムで骨構造や骨強度がディスプレイされてくる時代もそう遠くはないのかもしれない。

## 文 献

- 1) Wolf SL, Barnhart HX, Kutner NG, et al : Reducing frailty and falls in older persons: An investigation of Tai Chi and computerized balance training. *J Am Geriatr Soc* **44** : 489-497, 1996.
- 2) Nashner LM : Practical biomechanics and physiology of balance. Jacobson GP, Newman CW, Kartush JM : Handbook of Balance Function Testing, Thomson Learning, NY : 261-279, 1997.
- 3) van den Kroonenberg A, Hayes WC, McMahon TA : Hip impact velocities and body configurations for experimental falls from standing height. *J Biomechanics* **29** : 807-811, 1996.
- 4) Nankaku M, Kanzaki H, Tsuboyama T, et al : Evaluation of hip fracture risk in relation to fall deirection. *Osteoporos Int* **16** : 1315-1320, 2005.
- 5) Smeesters C, Hayes WC, McMahon TA : Disturbance type and gait speed affect fall direction and impact location. *J Biomechanics* **34** : 309-317, 2001.
- 6) Pai Y, Iqbal K : Simulated movement termination for balance recovery : can movement strategies be sought to maintain stability in the presence of slipping or forced sliding? *J Biomechanics* **32** : 779-786, 1999.
- 7) Nevitt MC, Cummings SR : Type of fall and risk of hip and wrist fractures : The study of osteoporotic fractures. *J Am Geriatr Soc* **41** : 1226-1234, 1993.
- 8) Mellory WE, Maki BE : Age-related compensatory stepping in response to unpredictable perturbations. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* **51** : M289-296, 1996.
- 9) Thelen DG, Wojcik LA, Shultz AB, et al : Age differences in using a rapid step to regain balance during a forward fall. *J Gerontology Med* **52A** : M8-M13, 1997.
- 10) Glerup H, Eriksen ER : Chapter 102 Muscles and Falls. Feldman D, Pike JW, Goriex FH : Vitamin D second edition. Elsevier Academic Press. Burlington, MA, USA : 1805-1820, 2005.
- 11) Robinovitch SN, Hayes WC, McMahon TA : Prediction of femoral impact forces in falls on the hip. *J Biomech Eng* **113** : 366-374, 1991.
- 12) Lotz JC, Gerhart TN, Hayes WC : Mechanical properties of trabecular bone from the proximal femur : A quantitative CT study. *J Computer Assisted Tomography* **14** : 107-114, 1990.
- 13) Okuizumi H, Harada A, Iwata H, et al : Effect on the femur of a new hip fracture preventive system using dropped-weight impact testing. *J Bone Miner Res* **13** : 1940-1945, 1998.
- 14) Kannus P, Parkkari J, Poutala J : Comparison of force attenuation properties of four different hip protectors under simulated falling conditions in the elderly : An in vitro biomechanical study. *Bone* **25** : 229-235, 1999.
- 15) Laing AC, Robinovitch SN : Effect of soft shell hip protectors on pressure distribution to the hip during sideways falls. *Osteoporos Int March Online*, 2008.
- 16) Lotz JC, Cheat EJ, Hayes WC : Fracture prediction for the proximal femur using finite element models : Part I-Linear analysis. *J Biomech Eng* **113** : 353-360, 1991.
- 17) Verhulp E, van Rietbergen B, Huiskes : Load

- distribution in the healthy and osteoporotic human proximal femur during a fall to the side. *Bone* **42** : 30-35, 2008.
- 18) Majumder S, Roychowdhury A, Pal S : Simulation of hip fracture in sideways fall using a 3D finite element model of pelvis-femur-soft tissue complex with simplified representation of whole body. *Med Eng Phys* **29** : 1167-1178, 2007.
- 19) 田中英一：高齢者の転倒のバイオメカニクス。 *Nursing Today* **22** : 47-56, 2007.
- 20) Faulkner KG, Wacker WK, Barden HS, et al : Femur strength index predicts hip fracture independent of bone density and hip axis length. *Osteoporos Int* **17** : 593-599, 2006.
- 21) Takada J, Beck TJ, Iba K : Structural trends in the aging proximal femur in Japanese postmenopausal women. *Bone* **41** : 97-102, 2007.
- 22) Imai K, Ohnishi I, Bessho M, et al : Nonlinear finite element model predicts vertebral bone strength and fracture site. *Spine* **31** : 1789-1794, 2006.



## あなたのクリニカルパスは安全ですか？

安全な医療構築のための  
自治医科大学消化器・一般外科方式クリニカルシステム

自治医科大学消化器・一般外科助教授 佐田 尚宏 編

A4変型判 76頁 定価 4,935円(本体 4,700円+税5%)送料実費  
ISBN4-7532-2187-3 C3047

- ◎クリニカルパスにおける作成当初の問題点・運用上の留意事項などを、実践にもすぐ役立つようわかりやすく紹介した実用書。
- ◎安全で効率的な医療のために一医師、看護師をはじめ、医療関係者に必携の一冊！
- ◎付録 CD-ROM で、クリニカルパスの実施パターンが視覚的にもわかる！

### おもな内容

- I. 自治医科大学消化器・一般外科クリニカルシステムの概要
  - II. 医療の効率化と安全性
  - III. 消化器・一般外科クリニカルパス
  - IV. 効率的で安全な医療構築のためのクリニカルシステム
  - V. 自治医科大学附属病院におけるクリニカルパスの取り組み
- カラー図譜

●付録 CD-ROM PDF化した消化器・一般外科クリニカルパス

株式会社 医薬ジャーナル社 〒541-0047 大阪市中央区淡路町3丁目1番5号・淡路町ビル21 電話 06(6202)7280(代) FAX 06(6202)5295 (振替番号)  
〒101-0061 東京都千代田区三崎町3丁目3番1号・TKビル 電話 03(3265)7681(代) FAX 03(3265)8369 00910-1-33353

## 転倒・骨折

実態と予防

奥泉 宏康

### ポイント

- 転倒は加齢とともに増加し、橈骨遠位端骨折は50歳台、大腿骨頸部骨折は75歳から増加する。
- 地域在住高齢者で年に20~30%、施設入居者で30~40%が転倒を経験する。
- 転倒の約10%に骨折が、1%に大腿骨頸部骨折が生じる。
- 運動器不安定症は、高齢化によりバランス能力や歩行能力が低下して転倒リスクが高まった状態をいう。
- 転倒は多因子の現象なので、運動・薬剤見直し・環境整備・教育などを加えた多面的介入が有効である。

加齢とともに、転倒や転倒に伴う外傷は増加し、女性では50歳台から橈骨遠位端骨折、70歳後半より大腿骨頸部骨折の発生率が増加<sup>1)</sup>する(図1)。特に、日本における大腿骨頸部骨折の推定発生数は、1987年の53,200人から15年間で117,900人に倍増し<sup>2)</sup>、受傷後の歩行能力や生命予後への影響が大きい。2004年度の

国民生活基礎調査によれば、要介護の原因としては、脳血管障害(25.7%)、高齢による衰弱(16.3%)に続き、骨折・転倒が10.8%を占めている。すなわち、転倒・骨折は後期高齢者医療や介護保険に影響を及ぼす重要な社会問題となっている。

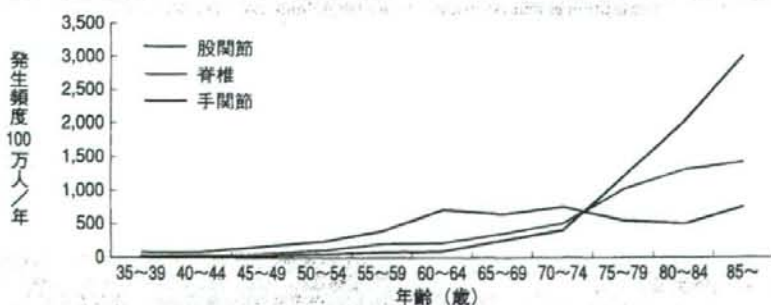


図1 年齢階級別高齢者骨折の発生率 (Cooper & Melton<sup>1)</sup>, 1992)

手関節の骨折は50歳台から、股関節の骨折は70歳台の後半から急激に発生頻度が上昇する。