

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, 2005³⁾より引用)

ンD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-Ferrari⁷⁾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RECORD⁸⁾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)⁹⁾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つついた。

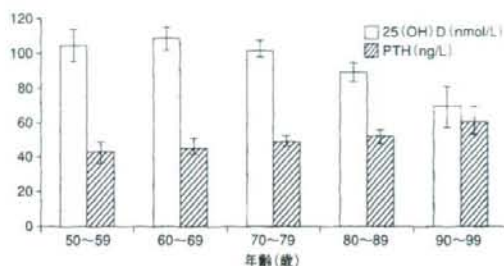


図2 加齢に伴う25(OH)DとPTHの変化

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 Mühlen DG et al, 2005⁴⁾より引用)

しかし, 2007年にBischoff-Ferrari¹⁰⁾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ないと結論付けている。この後はまだ大規模比較研究はおこなわれていないので, 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-Ferrari¹¹⁾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%減少させたと結論している(オッズ比0.78:95%信頼区間0.64~0.92)。さらに, 2005年のFlicker¹²⁾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-Ferrari¹³⁾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。

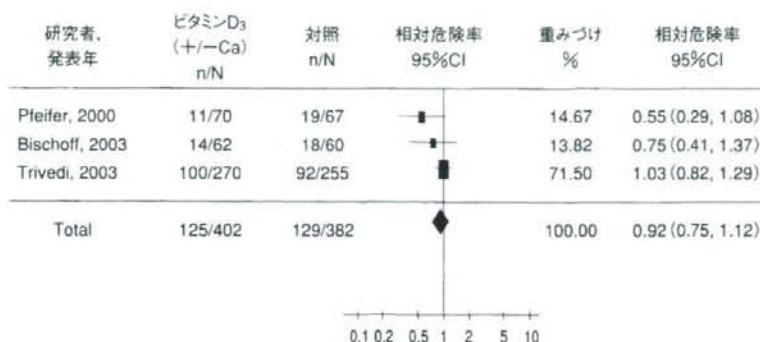
しかし, 一方で, 2004年のDhesi¹⁴⁾は転倒経験のあ

表① ビタミンDによる転倒予防効果

| 報告者・発表年 | 転倒の定義 | 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の種類 | 投与期間 | 投与割合 | 25(OH)D前 (nmol/L) | 25(OH)D後 (nmol/L) |
|--|-------|-----------|-------|--------|-------|------------------------|------|--------|------|----------|------------------------|--------|-------------------|-------------------|
| Graafmans, 1996 | 0.91 | 0.59~1.40 | 明確 | 354 | 302 | 歩行可能な高齢者 | 83 | 70~ | 7M | 天然型 | 400IU/日 | — | — | — |
| Pfeiler, 2000 | 0.47 | 0.2~1.10 | 明確 | 148 | 137 | 歩行可能な (25OH<30nmol/L) | 74 | 70~86 | 12M | 天然型 | 800IU/日 | 1200mg | 25.7±20.9 | 40.5±27.0 |
| 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 | — | 74.8±29.0 | 55.5±24.5 |
| 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 | 41.0±25.5 | 65.0±23.8 |
| 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 | — | 78.0±21.6 | 80.7±19.7 |
| カシノミ52mg/日以上 | 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 | 988 | | | | | | | | | |
| Bischoff-Ferrari HA et al, 2004 ¹¹⁾ | | | | | | | | | | | | | | |
| Larsen, 2002 | 0.88 | 0.79~0.98 | 特異性不明 | 5,771 | 5,771 | 歩行可能な | 74 | 66~103 | 42M | 天然型 | 400IU/日 | 1000mg | 37±19 | 47±20 |
| 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 | 1000IU/日 | — | — | 72.0±22.5 |
| Latham, 2003 | 1.31 | 0.77~2.23 | 不明確 | 222 | 129 | 動機性の高い地域在住者 | 79 | 77~81 | 6M | 天然型 | 300,000IU | — | 42.5 (40~48) | 65 (58~76) |
| Chapuy, 2004 | 1.08 | 0.75~1.55 | 不明確 | 583 | 583 | 歩行可能な高齢者施設入居者 | 85 | — | 24M | 天然型 | 800IU/日 | 1200mg | 21.3±20.9 | 75 |
| Harwood, 2004 | 0.48 | 0.26~0.89 | 不明確 | 150 | 150 | 骨密度低下者 | 81 | 67~92 | 12M | 天然型 | 30,000IU/日 | 1000mg | 29 (6~85) | 40~50 |
| 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 ¹¹⁾ | | | | | | | | | | | | | | |
| Flicker L et al, 2005 ¹²⁾ | 0.73 | 0.57~0.95 | 明確 | 625 | 593 | 施設入居者 (25-OH<30nmol/L) | 83.4 | — | 24M | 天然型 | 10,000IU/週 → 1,000IU/日 | 600mg | 24M | 42% 54% (25~40)* |
| 服用率50%以上 | 0.63 | 0.48~0.82 | | | | | | | | | | | | |
| Bischoff-Ferrari HA et al, 2006 ¹³⁾ | 0.77 | 0.51~1.15 | 明確 | 445 | 246 | 地域在住者 | 85~ | 65~ | 36M | 天然型 | 700IU/日 | 500mg | 28.0±13.2 | 41.6±16.7 |
| 活動性の低い女性 | 0.54 | 0.30~0.97 | | | | | | | | | | | | |
| 男性 | 0.93 | 0.50~1.72 | | | | | | | | | | | | |
| Dhesi JK et al, 2004 ¹⁴⁾ | 0.77 | 0.38~1.59 | 明確 | 139 | 108 | 地域在住者 (歩行能力に制限無し) | 76.6 | 65~ | 6M | 天然型 | 600,000IU | — | — | 41.4±14.1 |
| Porhouse J et al, 2005 ¹⁵⁾ | 0.98 | 0.79~1.20 | 不明確 | 3,454 | 3,454 | 地域在住者 (歩行能力に制限無し) | 77 | 70~ | 12M | 天然型 | 800IU/日 | 1000mg | 26.8 (26~28) | 43.7 (41~46) |

*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, 2004¹¹⁾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.*, 2007¹⁶⁾より引用)

る地域高齢者に対して、2005年のPorthouseら¹⁵⁾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¹⁶⁾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成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¹⁰⁾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¹⁷⁾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¹⁸⁾、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¹⁹⁾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²⁰⁾。

同様に、ビタミンD欠乏ラットでも筋原線維内のアクトチンやトロポニン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

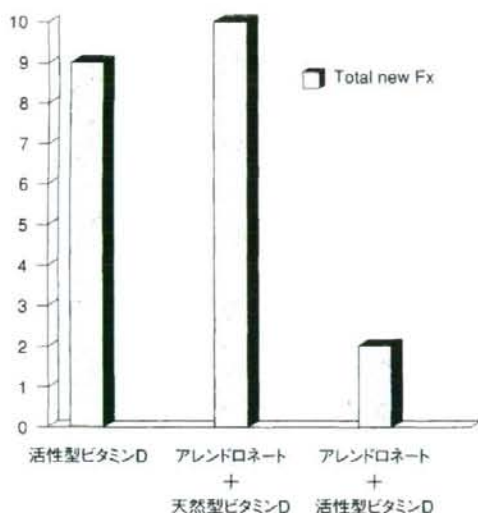


図4 アレンドロネート治療2年後の新規骨折発生数(脊椎骨折に非脊椎骨折も含む)
天然型ビタミンDとアレンドロネートを併用した場合と比較して、活性型ビタミンDとアレンドロネートの併用により骨折が5分の1に減少していた。
(Ringe JD et al, 2007¹⁹⁾より改変引用)

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²¹⁾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²²⁾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²³⁾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²⁴⁾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²⁵⁾

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)D₃や1,25(OH)₂D₃が通過することが確認されている。1,25(OH)₂D₃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がグルタチオン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¹⁾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²⁶⁾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と比較して、活性型ビタミンD₃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²⁷⁾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 D₃ 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 D₃) 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 D₃) 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 D₃ 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

奥泉宏康 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きている。また、材料工学の手法を用いて、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) ¹⁾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。

Nashner²⁾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^{3)~5)}から始まり、次第に、より自然な形で転倒を迫るために、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¹⁾、滑らせたりする方法⁶⁾が行われている。Smeester⁵⁾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

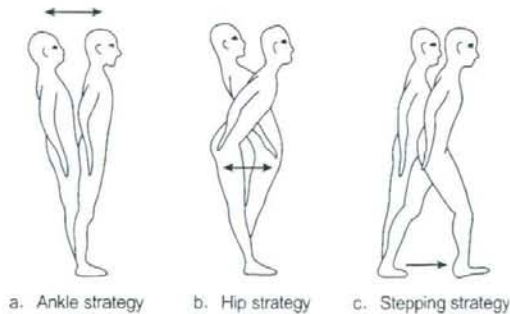


図1 Nashnerによる転倒予防戦略

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), QCT : quantitative computed tomography

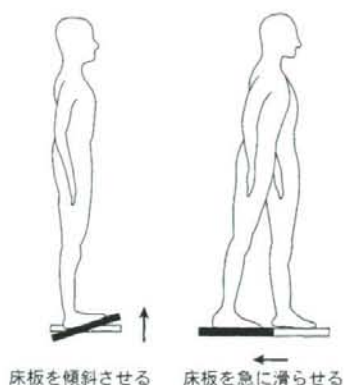


図2 転倒シミュレーションの方法

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⁷⁾。

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⁸⁾。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⁹⁾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¹⁰⁾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8,600N¹¹⁾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¹²⁾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¹³⁾¹⁴⁾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¹⁵⁾。

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、Lotz¹⁶⁾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Verhulp¹⁷⁾らのマイクロCTを用いた有限要素解析では、80 μ 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

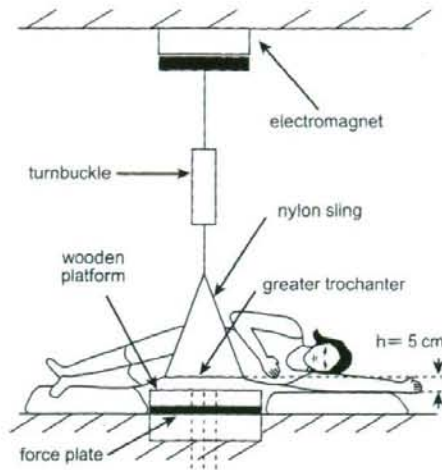


図3 Robinovitch による転倒時の衝撃荷重を求める実験
被験者を天井から吊り下げ、圧力板にて衝撃荷重を測定する。

(文献 11 より引用)

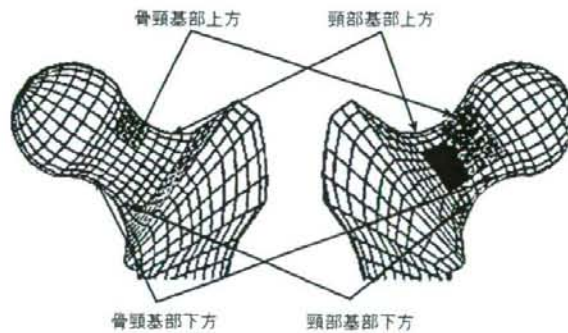


図4 有限要素法による大腿骨頸部骨折の圧縮ひずみの集中心

側方転倒をシミュレートした拘束・荷重条件により、大腿骨頸部後方陥凹部 (■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頸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、大腿骨頸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¹⁸⁾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¹⁹⁾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²⁰⁾ 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、Takada²¹⁾ 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²²⁾。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、非侵襲的に行え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

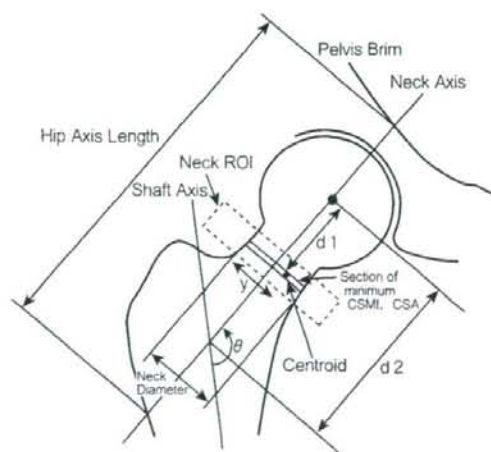


図5 HSAプログラムによる内因性モーメント

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 direction. *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, Goriens 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)
〒101-0051 東京都千代田区三崎町3丁目3番1号・TKビル 電話 03(3256)7681(代) FAX 03(3256)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¹⁾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²⁾、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。

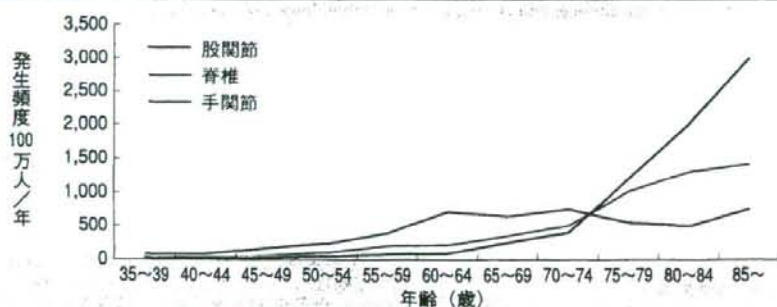


図1 年齢階級別高齢者骨折の発生率 (Cooper & Melton¹⁾, 1992)
手関節の骨折は50歳台から、股関節の骨折は70歳台の後半から急激に発生頻度が上昇する。

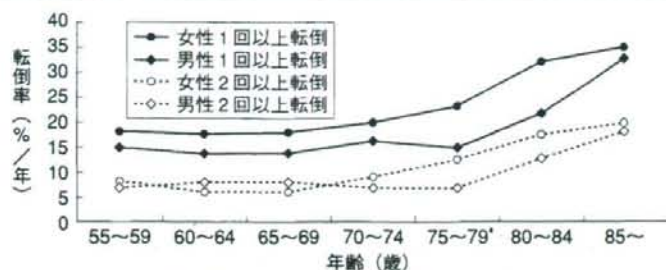


図2 年齢別転倒率の推移 (文献1より引用)
女性では65歳頃より、男性では75歳頃より転倒頻度が増加してくる。

転倒・骨折の実態

日本における年間の転倒発生率は、65歳以上の地域在宅高齢者において20%程度、施設入所高齢者で約40%と考えられ²⁾、加齢とともに増加してくる¹⁾(図2)。転倒のうち54~70%に外傷が、6~12%に骨折が、1~3%に大腿骨頸部骨折が発生している³⁾。逆に、手関節や上腕骨、大腿骨頸部の骨折は、90%以上が転倒と関連している¹⁾が、脊椎圧迫骨折に関しては25%程度である。

転倒の発生場所は屋外が多いが、大腿骨頸部骨折患者では屋内に多い³⁾。すなわち、転倒自体は、活動性が高く元気に歩行ができる高齢者が外出して生じることが多いが、その場合には外傷は少なく、むしろ、活動性が低く、身体機能の低下した高齢者が室内で転倒すると、骨折を引き起こしているといえる。これは、部屋に閉じこもり筋力が低下することと、日光にあたらないために、通常なら皮膚で生合成されるビタミンDが低下して骨強度が低下することが関連していると考えられている。

運動器不安定症

高齢化により、バランス能力および移動歩行

能力の低下が生じ、閉じこもりや転倒リスクが高まった状態を「運動器不安定症」と定義している(表1)。このことは、転倒の危険因子として重要であるが、転倒は多因子により生じる現象であり、転倒の既往や住環境、服薬剤なども転倒には関連が深い。

運動による転倒予防

2005年のThe Cochrane Library⁴⁾によれば、個別運動指導を行った3 RCT(566名)で20%の(95%信頼区間:0.66~0.98, 以下同様)有意な転倒減少がみられている。しかし、グループでの筋力増強やバランス訓練、歩行指導を行った9 RCT(2,177名)では9%(0.78~1.07)の転倒減少を示すが、有意な差はない。Wolf(1996)らの行った太極拳による転倒予防が、49%(0.36~0.73)と最も転倒数を有意に減少させている。

薬剤による転倒予防

転倒に関連する薬剤としては、睡眠薬、抗不安薬、抗精神病薬、抗うつ薬、降圧薬、排尿障害治療薬、抗悪性腫瘍薬、糖尿病薬などが挙げられている。The Cochrane Library⁴⁾において、抗精神病薬の中止は転倒リスクを66%減

表1 運動器不安定症の診断

下記の運動機能低下をきたす疾患の既往があるか、または罹患している者で、日常生活自立度あるいは運動機能が以下に示す機能評価基準1または2に該当する者

【運動機能低下をきたす疾患】

- ・脊椎圧迫骨折および各種脊柱変形(亀背、高度腰椎後彎・側彎など)
- ・下肢骨折(大腿骨頸部骨折など)
- ・骨粗鬆症
- ・変形性関節症(股関節、膝関節など)
- ・腰部脊柱管狭窄症
- ・脊髓障害(頸部脊髓症、脊髓損傷など)
- ・神経・筋疾患
- ・関節リウマチおよび各種関節炎
- ・下肢切断
- ・長期臥床後の運動器廃用
- ・高頻度転倒者

【機能評価基準】

1. 日常生活自立度:ランクJまたはA(要支援+要介護1, 2)
2. 運動機能:1)または2)
 - 1):開眼片脚起立時間 15秒未満
 - 2):3m timed up and go test 11秒以上



図3 ヒッププロテクター

大腿骨転子部をパッドで覆って、大腿骨頸部骨折を予防する。

少させたという報告はあるが、実際の臨床では、精神病薬の中止は主疾病の治療に支障が生じるので、内服再開はやむを得ない。したがって、服用薬剤数の増加が転倒危険度と関連することを考慮し、服用薬剤数を見直して適切な薬剤に整理することが必要である。

近年、骨密度増加効果の低いビタミンDでも骨折予防に有効である理由として、ビタミンDによる筋力増強が転倒予防効果を示し、その

ために転倒に起因する骨折が減少すると考えられている。ビタミンD投与により転倒を22% (95%信頼区間:0.64~0.92)減少させ⁵⁾、特に、700~800 IU/日の投与の場合に、大腿骨頸部骨折が26%、非脊椎骨折が23%減少した⁶⁾というメタ分析がある。しかし、骨脆弱性骨折を経験した70歳以上の高齢者5,289名に対するRCT研究⁷⁾では、800 IU/日のビタミンDを投与したにもかかわらず、脆弱性骨折再発に有意差はなかったという報告もあるので、今後の検討を要する。

ヒッププロテクターによる 大腿骨頸部骨折予防

大腿骨頸部骨折の90%以上が転倒に伴い発生しており、打撲部位である大転子部を被って衝撃を低下させるヒッププロテクター(図3)を使用することにより骨折予防が可能である。しかし、介護施設における有効性は認められているものの、在宅高齢者に対しては有意差を認めない⁸⁾。この大きな原因としては、装着率

の低さが指摘されており、素材やデザインを改良して、装着時および更衣時の違和感を低減させたヒッププロテクターの開発が期待されている。

転倒予防のまとめ

転倒は個人の身体機能低下だけの問題ではな

く、周囲環境を含めた多因子の現象である。したがって、単なる運動プログラムだけでなく、段差をなくしたり、足下の照明を整備したりなどの住宅環境の改善や、本人だけでなく家族や介護スタッフを含めた転倒に対する幅広い教育、転倒に関係する薬剤の見直しや骨折予防のヒッププロテクターなどを考慮した多面的複合介入が、転倒予防に対してはより有効である。

文 献

- 1) Nevitt MC: Falls in the elderly: Risk factors and prevention. *Gait Disorders of Aging—Falls and Therapeutic Strategies*, pp 13-36, Lippincott-Raven, Philadelphia, 1997
- 2) 鈴木隆雄: 疫学的見地からみた高齢者の転倒. *MB Med Rehab* 65: 11-16, 2006
- 3) 萩野 浩: 高齢者の転倒の結果とその予後. 武藤芳照(総監修): 高齢者指導に役立つ転倒予防の知識と実践プログラム, pp 12-17, 日本看護協会出版会, 2006
- 4) Gillespie LD, et al: Interventions for preventing falls in elderly people (Review). *The Cochrane Library* issue 3, 2005
- 5) Bischoff-Ferrari HA, et al: Effect of Vitamin D on Falls: A meta-analysis. *JAMA* 291: 1999-2006, 2004
- 6) Bischoff-Ferrari HA, et al: Fracture Prevention with Vitamin D supplementation: A meta-analysis of randomized controlled trials. *JAMA* 293: 2257-2264, 2005
- 7) Grant AM, et al: Oral vitamin D₃ and calcium for secondary prevention of low-trauma fractures in elderly people (randomised evaluation of calcium or vitamin D, record): A randomized placebo-controlled trial. *Lancet* 365: 1621-1628, 2005
- 8) 原田 敦, 奥泉宏康: 骨折の予防 ヒッププロテクター: 骨粗鬆症と骨折予防, pp 170-173, メジカルビュー社, 2005

MEDICAL BOOK INFORMATION

医学書院

ポケット心電図

ECG Pocket 2/e

監訳 田邊晃久・吉岡公一郎

●A6変型 頁288 2007年
定価2,520円(本体2,400円+税5%)
[ISBN978-4-260-00482-4]

医学生、研修医、看護師を主な読者対象として、基本的な心電図の読み方、波形から見た不整脈の定義・所見、原因、治療が、必要最小限の記述で簡潔にまとめられている。不整脈の発生機序は一目でわかるイラストを用いて解説。ポケットに入るコンパクトなサイズで、見たい情報が素早く引ける、ベッドサイドで本当に役立つ1冊。

転倒予防に対するリハビリテーション

—ヒッププロテクターによる骨折予防を含む—

Rehabilitation for preventing falls in the elderly—effect of exercise and hip protector—

奥泉 宏康

Hiriyasu Okuizumi(所長)／東御市立みまき温泉診療所

高齢者が覆たきりとなる転倒・骨折に対して、訪問による個別運動指導により20%の転倒予防効果が認められているが、グループ指導では太極拳により49%の転倒減少を認めるのみである。その運動特性から、水平方向への体重移動を基本としたバランス訓練と踏み出しの一步を向上させる運動が必要である。

転倒予防のためには、運動に加えて薬剤見直しや環境整備、介護者への教育など総合的な介入がより有効であるが、大腿骨頸部骨折予防のためのヒッププロテクターに関しては、施設入居高齢者に対して25%の骨折予防効果を示すが、無効であるという報告もみられている。

key words

fall prevention
exercise
Tai Chi
biomechanics
hip protector

はじめに

平成16年の国民生活基礎調査¹⁾によれば、「骨折・転倒」は、介護を要する原因の10.8%を占め、「脳血管疾患」(25.7%)、「高齢による衰弱」(16.3%)に次ぎ、「痴呆」(10.7%)と並んで多い。実際に転倒した場合には、外傷が54-70%に、骨折が6-12%に認められており²⁾、特に、高齢者の生命やQOLに大きな影響を及ぼす大腿骨頸部骨折は、転倒の1-3%に発生している。したがって、転倒を予防することにより、骨粗鬆症に関連する骨折を予防することが介護予防に通じる。

欧米では65歳以上の高齢者のうち3人に1人が1年に1度の転倒を経験しており、わが国では、欧米よりやや低く、

地域在住高齢者で10-20%、施設入居高齢者で10-50%が1年間に転倒を経験している³⁾。転倒全体の統計では、屋外での転倒が50%を超えているが、75歳以上の大腿骨頸部骨折を生じた転倒に限って検討してみれば、約4分の3が屋内で転倒している³⁾。したがって、運動機能が低下し、屋内で生活している虚弱高齢者が、転倒恐怖感のために家に引きこもり、さらに運動機能が衰え、廃用性骨萎縮が生じて、骨折に至るという悪循環が浮かび上がる。

運動による転倒予防のエビデンス

運動により身体能力を高めて、バランス能力を改善⁴⁾させることにより、転倒を減少させれば、骨折予防に有効

である。2003年のCochrane Systematic Review⁵⁾によれば、専門的スタッフによる個別の訪問指導を行った3RCT(566名)において、20%(95%信頼区間:0.66-0.98)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9RCT(2,177名)では9%(0.78-1.07)の転倒減少は示すが、有意差は認められていない。グループによる運動指導と転倒に関する研究では、米国のFICSIT(Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques)研究の一つであるWolfら⁶⁾の太極拳を用いた運動指導が、平均年齢76.2歳の対象群200名に対して、相対危険率0.51(0.36-0.73)と有効であったとする報告があるが、近年の太

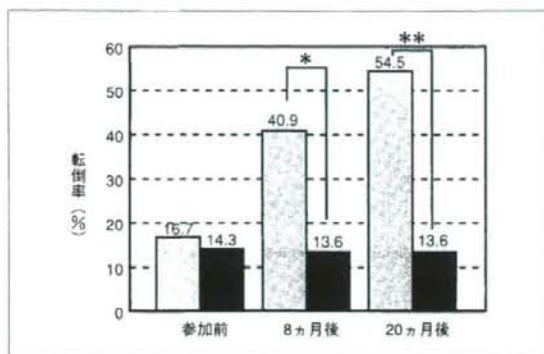


図1 東京都老人総合研究所「転倒予防教室」での転倒率の推移
 □：対照群、■：運動群
 フィッシャー検定により、*： $p < 0.1$ 、**： $p < 0.05$
 (文献8)より引用)

極拳の検討では対象年齢や転倒リスク評価、太極拳の流儀などが一定しておらず、十分な効果を示していない報告も散見される⁷⁾。しかし、太極拳はドロップアウト率が2～29%と比較的低く、運動を継続しやすい。

わが国においては、鈴木ら⁸⁾が、平均年齢78歳(74～89歳)の高齢者に対して、6ヵ月間、週2回1時間の「転倒予防教室」を実施したところ、対照群24名では8ヵ月後、20ヵ月後と転倒率が上昇していくのに対して、運動群28名では有意に上昇せず、転倒予防効果が認められている(図1)。

転倒予防のための運動処方の方考

転倒予防のための具体的な運動として、ストレッチや筋力強化運動、持久力運動、バランス運動、エアロビクス、散歩などが提示されているが、統計学的に有意な効果を示している運動は太

極拳のみである。したがって、太極拳の動作をバイオメカニク的にNashner⁹⁾の転倒予防理論に照合して解析すると、足関節での水平方向への移動を中心にバランスを取る Ankle strategy と股関節をくの字に曲げながら体重重心を大きく移動させる Hip strategy に相当する(図2)。この場合、脛骨前面の前脛骨筋と後方の腓腹筋・ヒラメ筋および股関節周囲筋から体幹筋において、ゆっくりとした運動の訓練が主体となる¹⁰⁾。

わが国において、坂本ら¹¹⁾が考案した片足立ちを日常生活の中で行うという「ダイナミックフラミンゴ体操」も、原則的には同様なバランス訓練となり、片足立ちをして前後左右にゆっくりとした動きが主体となる。平均年齢81.6歳の高齢者553名に対してのRCT研究により、1日1分間の片足立ち訓練により、対照群212名うちの転倒者121名に対して、運動群315名では転倒者118名と有意に少なかった。その他、特別な

道具を用いず、日常生活の中で手軽に行える運動方法としては、足指の感覚を磨くための「足指じゃんけん」¹²⁾や「タオル巻き運動」、前後方向や左右方向の「つぎ足歩行」などが考案されている。

一方、バランスを大きく崩して、重心が足部の基底面を超えて大きく逸脱した場合には、「とっさの一步」としての踏み出しによって転倒を予防する Stepping strategy が必要となる。高齢になると、特に四肢近位の速筋が低下する¹³⁾ことが確認されており、腸腰筋から大腿四頭筋のすばやい速筋の訓練が必要となる¹⁴⁾。ボールを使った運動やテニス¹⁵⁾などは、大きく迅速な体重移動を楽しみながら自然と行えるが、高齢者では筋力の低下および感覚受容器の低下などから、急に重心を移動する運動では転倒する危険性が高くなるため、指導者の十分な注意が必要である。

総合的な転倒予防—ヒッププロテクターによる大腿骨頸部骨折予防—

転倒予防は個人の身体機能向上だけでなく、薬剤見直しや介護する家族を含めた転倒予防教育、環境整備や転倒による骨折を防ぐためのヒッププロテクターなどの外傷予防装具を加えた多面的複合介入がより有効である。Weatherall¹⁶⁾によれば、運動プログラム単独では19% (0.58-1.14)の転倒予防効果が、複合的介入では35% (0.52-0.81)とより有効であり、Changら¹⁶⁾の検討では、運動のみで14% (0.75-

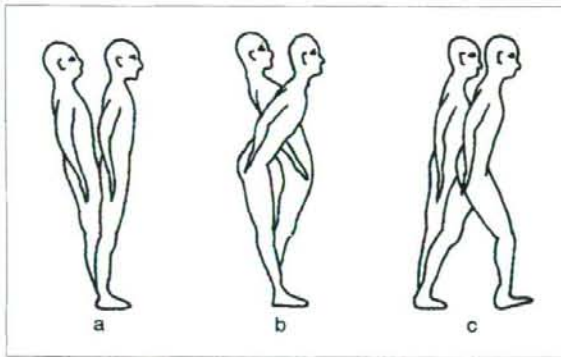


図2 Nashner[®]による転倒予防理論

軽度には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す Stepping strategy になる。

a : Ankle strategy, b : Hip strategy,
c : Stepping strategy

0.99)であった転倒予防効果が、転倒リスク評価や住環境改善、教育などを加えた複合的介入により18% (0.72-0.94)まで向上している。

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ヒッププロテクターは理論上は骨折予防に有効である。しかし、Cochrane Systematic Review¹⁷⁾では、施設入居高齢者における施設ごとにクラスター化した6RCTにおいて骨折リスクを25% (0.58-0.97)低下させるものの、個別の5RCTでは骨折リスクは14% (0.54-1.34)低下するものの有意ではなく、2RCTではむしろ骨折率が高かった。また、一般地域在住高齢者に対する3RCTでは、有意差は認められておらず (RR = 1.16 : 0.85-1.59)、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結果もみられる。2007年に片側だけプロテク

ターを装着したヒッププロテクターを用いて、1,042名の施設入居高齢者に行ったHIP PRO研究¹⁸⁾では、プロテクター装着側と非装着側とで、大腿骨頸部骨折発生に有意差 (3.1%対2.5%) はなく、着用の有効性に疑問が投げかけられている。

ヒッププロテクターの課題は、装着の受け入れ率が37-72%¹⁹⁾と研究による差が大きく、継続的装着率にも20-92%とばらつきがみられることである。現在、筆者らがを行っているヒッププロテクターの検討において、装着率の低さの主な原因としては、臀部への密着性が高いことによる脱着動作の煩雑さや皮膚発疹、特に、硬性プロテクターでは就寝時に異物感が強いことなどがあげられている。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、エアクッション型のヒッププロテクターが研究開発中である。

介護予防としての 転倒予防リハビリテーション

転倒予防、そして骨折予防はエビデンスとしては弱いものの、継続的な運動指導・実践によって効果は認められている。しかし、糖尿病や高血圧の最終治療目標が脳心血管疾患の予防であるように、対象者自身が直接的にすぐに目標を達成し、実感できるわけではない。したがって、運動を継続させていくためのモチベーションを維持することが難しく、理論的に平易な表現で転倒の実態を説明し、運動の長所・短所を十分にインフォームドコンセントした後、適切で適量な転倒予防のための運動を相談しながら計画し、さらには家屋環境や介護者の理解も得たうえで、転倒予防を総合的に行っていくことが、転倒・骨折による寝たきりを予防し、健康的な生活をおくることに通じるのである。

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.dobk.mhlw.go.jp/IPPA N/ippan/scm_k_ichiran, 2005
- 2) 萩野 浩：転倒・骨折の疫学。CLINICAL CALCIUM 18 (6) : 747-753, 2008
- 3) 安村誠司：高齢者の転倒と骨折。真野行生 編、高齢者の転倒とその対策。東京、医歯薬出版、40-45, 1999
- 4) Howe TE, Rochester L, Jackson A, et al : Exercise for improving balance in older people. Cochrane Database Syst Rev 4 : CD004963, 2007
- 5) Gillespie LD, Gillespie WJ, Robertson