

図28 脊椎圧迫骨折とその臨床像

最も高頻度であり、骨折直後のみならず、骨折治癒後の変形が残存する。
・背中が丸くなる(後弯)。
・重症例では神経圧迫⇒痛み、しびれ、筋力低下、尿失禁。
・骨折後も背骨の変形(後弯)残る。

り生じるもので、椎体はつぶされた形態となる(圧迫骨折)。

- 椎体骨折は圧迫骨折であり、椎体高が低減し、多くの例では前方部分が後方に比して高度に圧潰し、椎体高が減じる。その結果、椎体骨折が多発すると身長低下、脊柱の後弯変形をきたす。この変形は骨折癒合後も残存する。
- 逆に「2.5cm以上の身長低下」は椎体骨折の存在を示唆する
- 重症の場合、椎体後方部分(後壁)が圧潰し、脊柱管内への骨片の突出、脊柱アライメントの変化により脊髄、脊髄神経根を圧迫する。痛みに加え、しびれ、筋力低下、尿失禁、歩行障害などの神経症状をきたす。
- 骨粗鬆症に起因する椎体圧迫骨折で生じる後弯変形が、胃・食道逆流現象、神経障害、膀胱直腸障害などを引き起こす。
- 以上のことから脊柱後弯変形はADLの制限、QOLを低下させる原因となる(図28)。

3 後弯変形がADL・QOLに及ぼす影響

- 椎体骨折は複数以上になると脊柱全体として後弯変形、いわゆる円背(丸い背、腰曲がり)を呈する。このように脊椎椎体骨折では治癒した後も後弯変形が残り、身体的、心理的に障害を及ぼす。
- 日本骨代謝学会骨粗鬆症患者 QOL 評価質問表(JOQOL)は骨粗鬆症の疾患特異的なQOL評価のために作成された質問表で、その内容は痛み、日常生活、娯楽・社会的活動、総合健康度、姿勢・体型、転倒・心理的要素、家族支援、総括に分けられ、39の質問で構成されている(表5)。
- 後弯変形患者(45°以上の変化)と非後弯変形患者を対象に調査した結果では、「痛み」、「日常生活での家事」、「姿勢と体型への不満」、「転倒とそれに伴う心理的不安」の4つの項目で後弯変形患者の得点が有意に低かった(図29)。
- 骨粗鬆症外来患者65人(平均年齢64歳)を対象にJOQOLドメイン別評価を行った結果では、娯楽・社会的活動、総合的健康度、姿勢・体型、転倒・心理要素などの項目で点

表5 JOQOL, 2000 versionの日本骨代謝学会骨粗鬆症患者QOL 評価質問表

痛み	5 questions
日常生活 ADL	
身の回りのこと	4
家事	5
移動	7
娯楽, 社会的活動	5
総合健康度	3
姿勢・体型	4
転倒・心理的要素	5
家族支援	1
総括	1
total	39

osteoporosis-targeted instrument であり, 自記式である.

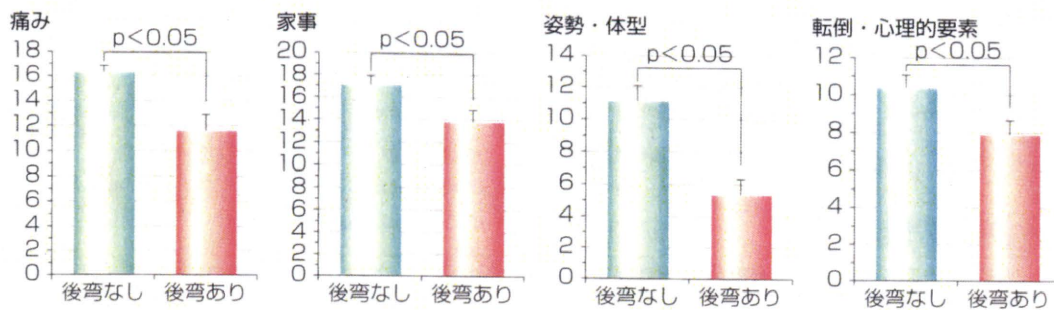


図29 後弯変形症例, 非後弯症例において差異がみられたQOLドメイン

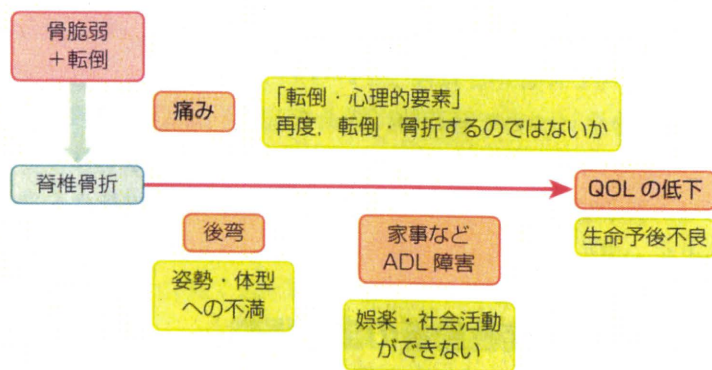


図30 骨粗鬆症患者の転帰

骨折によりADL, QOL低下し, 生命予後も不良となる.

数が低かった.

- 骨粗鬆症による骨の脆弱化のために, 転倒により骨折をきたす. その結果, 痛みと後弯変形などの姿勢・体型上の問題が生じ, 身体的には日常生活の障害, 心理的には再度の転倒骨折への不安が生じ, QOL低下に至る (図30)^{3,4)}.

1 ロコモティブ失能症
2 ロコモティブ失能症の予防

3 ロコモティブ失能症の予防
ロームを構成するもの

4 ロコモティブ失能症の予防

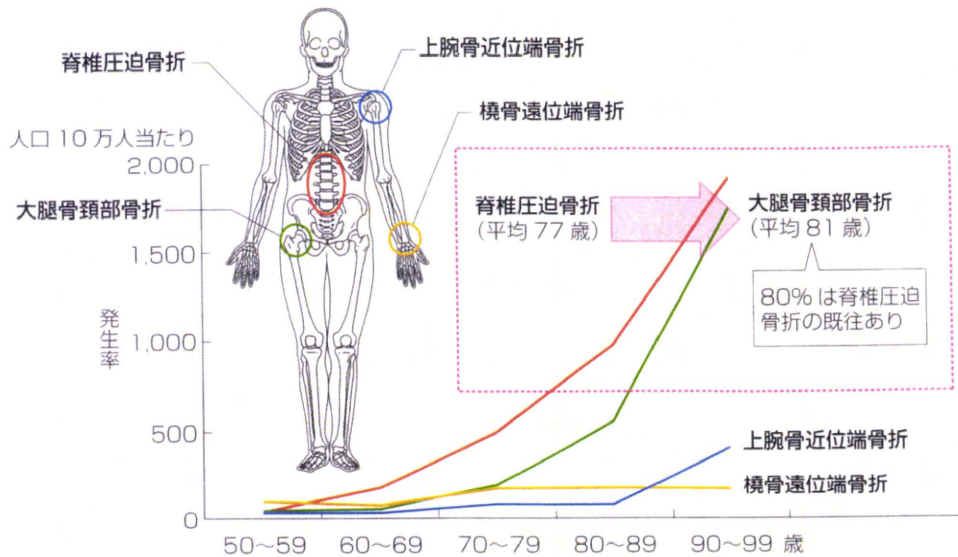


図31 骨折の年齢別発生率

骨折のドミノ(連鎖)がみられる。

注：新潟県佐渡市における医療機関を受診された骨折者についての調査結果である³⁾。

4 生命予後

- 中野らによると、医療機関受診の脊椎椎体骨折患者は受傷1年後に10%が死亡すると報告している。大腿骨頸部骨折患者の生命予後と同等レベルに不良であり、椎体圧迫骨折は身体的障害をもたらすばかりでなく生命予後も障害されている⁵⁾。
- Medicare (アメリカメディケア) の調査で椎体骨折患者は対照群に比して、2倍の死亡率であった。生存率は骨折後3年で54%、5年で31%、7年で10%であり、骨折後6ヵ月間の生存率低下が男性で著しいと報告している⁶⁾。
- 67～93歳の女性610名について経時的に経過を追うと、脊柱後弯の程度が1SD増加するたびに死亡リスクは1.14倍に上昇すること、脊柱後弯のより大きな女性では、より早期に死亡するリスクが上昇しており、これは骨密度値、既存椎体骨折数とは関係ないこと、が報告されている⁷⁾。

5 骨折の連鎖—骨粗鬆症性骨折の疫学調査—

- 新潟県佐渡市(2004年、総人口70,011人、そのうち65歳以上は23,787人、高齢化率は34.0%)で行われた疫学調査では椎体圧迫骨折発生数163、大腿骨近位部骨折85、人口10万人当たりの発生率に換算するとそれぞれ232.8、121.4骨折であった。
- 大腿骨近位部骨折患者の8割に椎体圧迫骨折の既往(既存骨折)が認められた。
- 椎体圧迫骨折の発症率は大腿骨近位部骨折の2倍程度であった。椎体圧迫骨折の受傷年齢の平均は77歳であるのに対して大腿骨近位部骨折受傷年齢の平均は81歳であった。
- 椎体圧迫骨折の既往のある例は、大腿骨近位部骨折を発症する危険が高いものと考えられる(図31)³⁾。

6 骨折危険因子の視点から見た脊椎椎体骨折

- 年齢は骨折危険因子である。骨折発生率は高齢者ほど高く、同じ骨密度であれば年齢が高いほど高くなる⁸⁾。
- 骨折の既往は大きな骨折リスクである。新規椎体骨折の発生リスクは非既往例に比べて既往例で4倍、他の骨折の既往例でも2倍に高まる。過去に骨折を起こしている方は、次の骨折を起こしやすい⁸⁾。

文献

- 1) Fujiwara S. et al. Fractures prediction from bone mineral density in Japanese men and women J Bone Miner Res 2003; 18: 1547-1553.
- 2) Ross PD. et al. Vertebral fracture prevalence in women in Hiroshima compared to Caucasians or Japanese in the US. Int J Epidemiol 1995; 24: 1171-1177.
- 3) Sakuma M. et al. Vitamin D and intact PTH status in patients with hip fracture. Osteoporos Int 2006; 17: 1608-1614.
- 4) 徳永邦彦, 他. Osteoporosis Jpn 2001; 9: 480-484.
- 5) 中野哲雄. 骨粗鬆症椎体圧迫骨折の死亡率. Osteoporosis Jpn 2009; 17: 207-210.
- 6) Lau E. et al. Mortality following the diagnosis of a vertebral compression fracture in the medicare population. J Bone Joint Surg 2008; 90: 1479-1486.
- 7) Kado DM. et al. Hyperkyphosis predicts mortality independent of vertebral osteoporosis in older women. Annals Int Med 2009; 150: 681-687.
- 8) 日本骨代謝学会ガイドライン. JBMM 2005; 23: 105-109.

e バランス機能の低下

1 バランス機能の障害

- バランス機能(平衡機能)の障害は、
 - ・ 前庭迷路の機能障害に由来するもの
 - ・ 脊髄障害や末梢神経障害による深部感覚障害に起因するもの
 - ・ 身体平衡に関する各種感覚を統合する中枢の機能障害によるものに分けられる¹⁾。
- ① 前庭迷路の機能障害に由来するもの
 - ・ 前庭迷路の機能障害は、メニエール病や炎症、薬物中毒などによる内耳の病変に基づき、通常は感音性難聴を伴う。
- ② 脊髄障害や末梢神経障害による深部感覚障害に起因するもの
 - ・ 脊髄後索の比較的限局した病変によって両下肢の深部感覚障害を認める場合には、著しい体幹の動揺を生じる。
 - ・ 古典的には梅毒による脊髄痙が有名である。現在では後索に限局した脊髄腫瘍や血流障害、多発性硬化症などが多い原因である。
 - ・ 糖尿病などによる末梢神経障害によっても深部知覚障害を生じ、体幹の動揺を認める。

運動器専門医の**外来診療と保存療法**のために



整形外科臨床
パサージュ

4

骨粗鬆症の トータルマネジメント

総編集

中村耕三 東京大学

専門編集

遠藤直人 新潟大学

中山書店

整形外科臨床パッセージ 4
骨粗鬆症のトータルマネジメント
目次

1 骨粗鬆症はどのような疾患か

定義と概念	遠藤直人	2
骨粗鬆症の定義 2/概念 2/骨粗鬆症で見られる骨折とその経過 2/成因 3 /分類 3/病態:骨リモデリングの異常 3/骨粗鬆症を有する高齢者への対応 4/治療目標 4		
骨粗鬆症, 脆弱性骨折の疫学	萩野 浩	6
骨粗鬆症の有病率 6/脆弱性骨折の疫学 7		
骨代謝と骨粗鬆症の病態	森 論史	17
骨の動き 17/骨の構成成分 17/骨の構造 19/骨の代謝 20/骨粗鬆症の病 態 25		

2 診察・検査の手順と評価, 原発性骨粗鬆症の診断

病歴のとり方	細井孝之	30
骨粗鬆症の診断における病歴聴取の位置づけ 30/骨粗鬆症に関する診療を受け ることになった経緯 30/自・他覚症状 31/骨折歴 31/転倒歴と転倒リスク 32/併発症や既往症 32/生活歴 33/家族歴 33/薬物療法関連の情報 34		
身体診察の進め方, 身体所見のとり方	原田 敦	36
身体診察の意義 36/身体診察の進め方 37/身体所見のとり方 37/身体的診 察のポイント 41		
診断の進め方, 診断基準	山崎 薫	44
骨粗鬆症の定義の変遷 44/WHOの診断基準とわが国の診断基準 45/低骨量 の評価 47/脆弱性骨折の評価 49/鑑別診断の重要性 51/鑑別すべき代表的 疾患 51/臨床症状からみた鑑別診断のポイント 54		
骨量測定を進め方とその評価	曾根照喜	56
骨量測定の意義 56/骨量測定の方法 56/骨粗鬆症診断における骨量測定の進 め方 58/測定結果の評価 61/診断のためのカットオフ値 63/DXAによる大 腿骨近位部ジオメトリーの評価 64		
画像検査の進め方	伊東昌子, 上谷雅孝	66
骨萎縮度の評価 67/椎体骨折の評価 68/骨粗鬆症性非椎体骨折 72/骨粗鬆 症以外の骨疾患への画像診断の役割 73/骨粗鬆症診断におけるX線写真以外の 画像診断の役割 74		

1. 骨粗鬆症はどのような疾患か

定義と概念

★1 NIH

National Institutes of Health (米国立衛生研究所) の略。

骨粗鬆症の定義

- 「骨折リスクを増すような骨強度上の問題をすでにもっている人に起こる骨格の疾患」(2000年, NIH^{★1} コンセンサス会議)。
- 骨粗鬆症 (osteoporosis) では骨強度が低下し, 骨が脆弱化した結果, 骨折をきたす。
- 骨強度は骨密度と骨質から成り, 骨密度は骨強度の70%を, 骨質は30%を説明する。
- 骨質としては骨構造, 骨代謝回転, 微細損傷の集積, 骨ミネラル化 (石灰化) などが含まれる。

概念

- 高齢者社会において重要な疾患であり, 日本では1,000万人以上の罹患と推定されている。
- 骨粗鬆症は日常生活動作 (activities of daily living : ADL), 生活の質 (quality of life : QOL) を障害し, 健康寿命を障害する重篤な疾患である。「健康寿命」とは, 痴呆 (認知症) や寝たきりででない状態, 心身ともに自立した生活・活動ができる期間である。
- 骨粗鬆症性骨折により, 移動, 活動などの基本的な日常生活動作 (ADL) が不自由となり, 自立性が失われ, 生活の質 (QOL) が低下し, 生命予後にまで影響を及ぼす。

骨粗鬆症で見られる骨折とその経過

- 脊椎椎体骨折が最も多く, 次いで大腿骨頸部骨折が多く, そのほか橈骨遠位骨折, 上腕骨頸部骨折がみられる。
- 骨脆弱が高度では, 骨盤 (恥骨, 坐骨, 仙骨) 骨折をきたす。
- 骨折直後には通常, 移動や運動時の疼痛があり, 活動が制限される。
- 脊椎椎体骨折後では椎体変形が残存し, 脊柱後弯変形をきたす。高度な後弯は胸郭の腹部への圧迫, 逆流性食道炎 (gastroesophageal reflux disease : GERD) を併発する。脊柱の後弯変形は, 身体面では生活機能の障害, 心理

面では転倒や再骨折への不安、社会的活動への参加を拒むなどの影響をもたらす。

- 生命予後の面では、大腿骨頸部骨折では骨折後1年で10%程度の死亡率、医療機関受診の脊椎椎体骨折例でも同程度の死亡率であり、いずれも不良である。

臨床骨折と形態骨折

- 脊椎椎体骨折では疼痛もなく、X線撮影などの画像検査で初めて骨折を確認される例がある。
- 疼痛を伴う場合を「臨床骨折 (clinical fracture)」, 疼痛を伴わない例を「形態骨折 (morphometric fracture)」と称する。

既存骨折と新規骨折

- 既存骨折 (prevalent fracture) とは、ある特定の一時点におけるX線検査で、椎体の変形の程度により判定される骨折である。
- 新規骨折 (incident fracture) とは、2つの時点におけるX線検査を比較し、椎体の形態変化の程度より新たに判定される骨折である。

▶ p.80 参照.

成因

- 遺伝的要因および加齢、閉経後エストロゲンの減少など多因子による。
- 生活習慣、ライフスタイルとも密接に関連しており、生活習慣病の一つである。

▶ p.25 参照.

分類

- 原発性骨粗鬆症のほかに、薬剤 (ステロイドなど)、内分泌異常などによる続発性骨粗鬆症がある。
- 続発性骨粗鬆症であるステロイド性骨粗鬆症に注意する。原発性骨粗鬆症に比して比較的高い骨密度値でも骨折をきたす。
- 「ステロイド性骨粗鬆症の管理と治療のガイドライン (2004年度版)」によれば、ステロイド投与 (PSL〈プレドニゾン〉換算で5mg/日以上、3か月間以上) あるいは投与が予定される患者にはステロイド投与早期から経過観察と骨折予防・治療が必要である。

▶ p.209 参照.

病態：骨リモデリングの異常

- 健常成人では、リモデリングにより骨吸収と骨形成の均衡が保たれており、骨量もほぼ一定に維持されている。
- 骨粗鬆症の骨組織では海綿骨の骨梁細小や途絶、また皮質骨厚が薄くなる。

1. 骨粗鬆症はどのような疾患か

これは骨吸収が骨形成を上回った結果であり、リモデリングの異常である。

- 代謝回転からみると骨吸収、骨形成ともに亢進した「高回転型」と、骨吸収、骨形成ともに低下した「低回転型」がある。

骨粗鬆症を有する高齢者への対応

- 高齢者は、さまざまな内科的疾患、認知症、嚥下障害などを有している。
- 骨のみの評価にとどまらず、内科的疾患の有無、栄養、認知機能、動揺性（転倒しやすさ）、筋力（運動機能）を含めて包括的に評価する。
- 糖尿病、腎不全、肝疾患、消化器疾患は、骨障害をきたすので骨粗鬆症の評価が重要である。

治療目標

- 「骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2006 年版」によれば、骨粗鬆症の治療と予防の目的は骨折の予防で、骨折危険性を低減し、生活の質（QOL）の維持・向上を図ることである。

▶p.200 参照.

Column FRAX[®] (fracture risk assessment tool)

(WHO) <http://www.shef.ac.uk/FRAX/>

骨粗鬆症患者さんの個人レベルにおける 10 年間の骨折確率を推計・算出できる。

FRAX[®] における骨折危険因子は「年齢、性、大腿骨頸部骨密度（骨密度のデータがない例では BMI (body mass index)）、既存骨折、両親の大腿骨近位部骨折歴、喫煙、飲酒、ステロイド使用、関節リウマチ、続発性骨粗鬆症」である。FRAX[®] は治療開始基準として提案されている。骨密度測定機器が充実している日本での活用は今後の課題である。

▶p.237 参照.

Column 大腿骨近位部骨折とクリティカルパス（クリニカルパス）

医療を標準化した診療計画である。パスを通じて、急性期病院と回復期病院で診療結果を共有でき、各医療施設間の連携と機能分担を目指している。

平成 18 年度診療報酬改訂で「大腿骨頸部骨折地域連携クリティカルパスに関する地域連携診療計画管理料、地域連携診療計画退院時指導料」が新設された。

(遠藤直人)

参考文献 (骨粗鬆症に関する参考文献)

1. 日本骨代謝学会骨粗鬆症診断基準検討委員会. 原発性骨粗鬆症の診断基準 (2000年度改訂版). 日骨代謝誌 2001; 18: 76-82.
2. 骨粗鬆症の治療 (薬物治療) に関するガイドライン作成ワーキンググループ. 骨粗鬆症の治療 (薬物療法) に関するガイドライン 2002年度改訂版. Osteoporosis Japan 2002; 10: 637-709.
3. Nawata H, et al. Guidelines on the management and treatment of glucocorticoid-induced osteoporosis of the Japanese Society for Bone and Mineral Research. J Bone Miner Metab 2005; 23: 105-9.
4. 日本骨粗鬆症学会骨粗鬆症診療における骨代謝マーカーの適正使用に関する指針検討委員会. 骨粗鬆症診療における骨代謝マーカーの適正使用ガイドライン (2004年度版). Osteoporosis Japan 2004; 12: 191-238.
5. 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会編. 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; 2006.
6. 厚生労働省ホームページ 重篤副作用疾患別対応マニュアル. <http://www.mhlw.go.jp/topics/2006/11/dl/tpl1122-1m01.pdf>

I. 概念

③ 構造特性と骨質

骨質構造特性には、骨ジオメトリー、海綿骨および皮質骨微細構造がある。

In vivo 骨ジオメトリー（大腿骨近位部）評価には、DXA（二重エネルギーX線吸収測定法）やCT画像が用いられる。

海綿骨微細構造は、*in vitro* にはマイクロCT、シンクログトンCTで三次元的に評価できる。*in vivo* にはX線写真、高解像度MR・CTが用いられるが、その評価にはまだ限界がある。

皮質骨微細構造は、シンクログトンCTにより三次元的に評価されている。

はじめに

骨折発生は骨密度のみで十分説明できないこと、また骨密度による薬効評価は感度が低いことが知られており、骨密度とともに骨質も考慮した骨評価が望まれている。しかしながら、現在臨床においての骨質評価には限界がある。

構造特性としての骨質評価の最近の話題は、画像解析やテクノロジーの進歩に伴い、*in vivo* 骨ジオメトリーおよび骨梁構造解析が高い精度で可能となり、骨折リスク評価や薬効評価に用いられるようになってきたことと、また*in vitro* では、皮質骨多孔性とマイクロクラックをその形態としてナノレベルで評価するなど、マクロからナノレベルで骨脆弱性の解明が進んでいることがあげられる。

1 *In vivo* 構造特性評価

1. DXAに基づく骨ジオメトリー評価

大腿骨近位部DXAデータを用いて、非侵襲的にジオメトリーと骨強度指標を算出するhip structure analysis(HSA)¹⁾が広く知られている。これはDXA測定値をピクセルごとに細分して算出し、その値に基づき3次的に再構築し、頸部(最狭部)、転子部、骨幹部において、骨密度、ジオメトリー、骨強度パラメータ(section modulus: SM, buckling ratio: BR)を算出する方法である。SMは、cross-sectional moment of inertia(CSMI)を骨量中心からの最大外径(dmax)で除して算出されたもので、この値が高い場合は、曲げ強度が高いことを意味する。また、皮質骨の菲薄化した領域に曲げの外力が働くと、内側に折れ込むような形態の骨折(座屈)をひきおこす。その骨

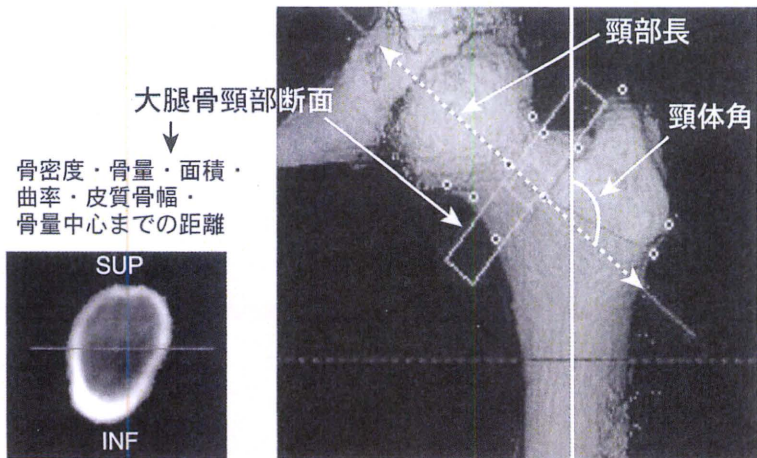


図1 三次元CT画像による大腿骨近位部ジオメトリ評価
 頸部長軸に直交する大腿骨頸部横断面像を得て、その画像より、全骨・皮質骨・海綿骨の骨密度・骨量・面積、ならびに曲率、皮質骨幅・骨量中心までの距離を算出する。そして骨強度指標CSMI(断面二次モーメント(曲げ強度の指標))やBR(buckling ratio(cortical stabilityの指標))を算出する。

強度パラメータは座屈比(BR)であり、 d_{max} を平均皮質骨幅(CoTh)で除した値である。

大腿骨近位部骨折例では、頸部骨密度が有意に低く、cross-sectional area(CSA)は有意に小さく、CoThも有意に小さく、BRは有意に高値であることが報告されている。ところが、力学パラメータ(CSMI・SM)は、骨折群と有意の相関を示すが、骨密度で補正すると有意の関係は消失してしまい、骨密度が骨折に最も強く関与する因子であることが示されている²⁾。

HSAを用いて種々の骨粗鬆症治療薬の評価がなされている。日本人を対象に行ったミノドロン酸投与の1年間の試験³⁾や、アレンドロネートとリセドロネートの比較を行ったFACT試験⁴⁾では、外径の増加は軽微な割に皮質骨幅の増加を認めており、ビスホスホネートの皮質骨内膜側の骨吸収抑制効果が示唆されるデータである。FACT試験の結果では、アレンドロネートの骨力学特性増加のメカニズムとして骨量中心点(centroid 重心)の偏在を改善させて、BRを増加させることも示された。

アレンドロネート・エストロゲン・それらの併用療法の比較試験、MORE試験の部分集団におけるラロキシフェンとプラセボ群の比較試験、また、Fracture Prevention Trialの部分集団を対象にしたテリパラチド20カ月投与試験などの報告がある。

2. 臨床用CTに基づく骨ジオメトリ解析

X線CTを用いた大腿骨骨解析(CT-based hip structure analysis)には各領域の骨密度を算出するほか、頸部軸を検出し、同軸を基準に頸部断面像より皮質骨幅や皮質骨周囲長・曲率などを評価して骨強度指標(CSMIやBR)も算出できる(図1)。屍体大腿骨を高解像度CTで解析した研究⁵⁾では、大腿骨頸部において上背側では荷重の影響が少ないため、同部の皮質骨幅は加齢に伴い菲薄化するが、その変化は骨脆弱性と関連していることが報告されている。臨床用CTを用いて頸部骨折と転子部骨折でのジオメトリの特徴を検討⁶⁾した結果では、頸部骨折においてはHAL(hip axis length: 大腿骨頸部長)が有意に長く、CSMIが有意に低く、BRが有意に高かった。また、転子部骨折においては大腿骨頸部の皮質面積が有意に小さいことがわかった。

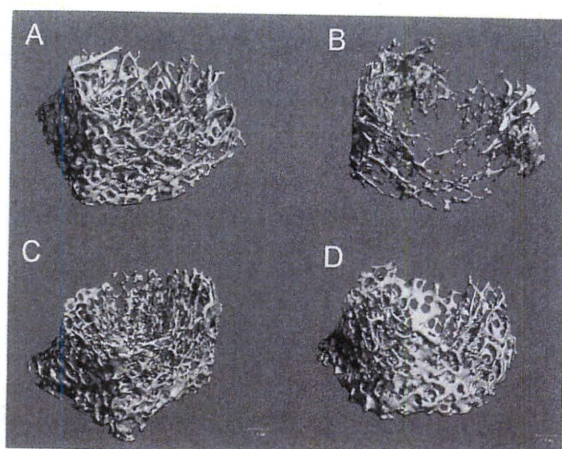


図2 カニクイザル大腿骨遠位部海綿骨マイクロCT画像
A : sham
B : 卵巣摘除後
C : ミノドロン酸 0.015 mg/kg 治療後
D : ミノドロン酸 0.15 mg/kg 治療後
(文献 12 より引用)

2 In vitro 海綿骨梁構造評価

1. 海綿骨微細構造の定量化

マイクロCTで得られる骨梁構造評価パラメータには以下のようなものがある。

① 骨形態計測学的パラメータ

骨組織容積比BV/TV(%), 骨梁幅Tb.Th(mm), 骨梁間距離Tb.Sp(mm), 骨梁数Tb.N(1/mm)。三次元的計測が可能である。

② 空間的構造を表すパラメータ

Structure model index (SMI) は, rod 様構造から plate 様構造までの骨梁の形態を定量化するパラメータ, 異方性度(degree of anisotropy:DA)は骨梁の方向性を定量化したパラメータである。骨梁連結性の定量化は, Connectivity density (連結密度)として求められる。

2. マイクロCTによる骨梁構造評価

マイクロCTは *in vitro* に骨サンプルを対象に高解像度CT画像を得る装置である。マイクロCTを用いて, 病態における骨微細構造の変化の解析⁷⁻¹⁰⁾や, 三次元骨構造の骨力学特性への関与¹¹⁾, 骨粗鬆症治療薬投与後の骨梁構造の変化を観察する研究は多数行われている(図2)¹²⁻¹⁴⁾。マイクロCTは骨代謝研究の解明¹⁵⁾に重要な手法となっている。

3. シンクロトロンCTによる骨微細構造評価

放射光を用いてエネルギー可変型の単色X線CT(シンクロトロンCT)が実現した。単色X線CTの特徴は, 線質硬化によるアーティファクトがなく, CT値と物質固有のX線吸収係数との対応が定量的に行えるため密度測定が可能であること, 元素のK吸収端前後でX線吸収係数が大きく変化することを利用して, 内部に含まれる特定元素のみのCT画像を得ることができることなどがあげられる。また, 三次元骨梁構造や骨梁表面の形状評価, 骨細胞の分布の観察, 石灰化度の評価, 皮

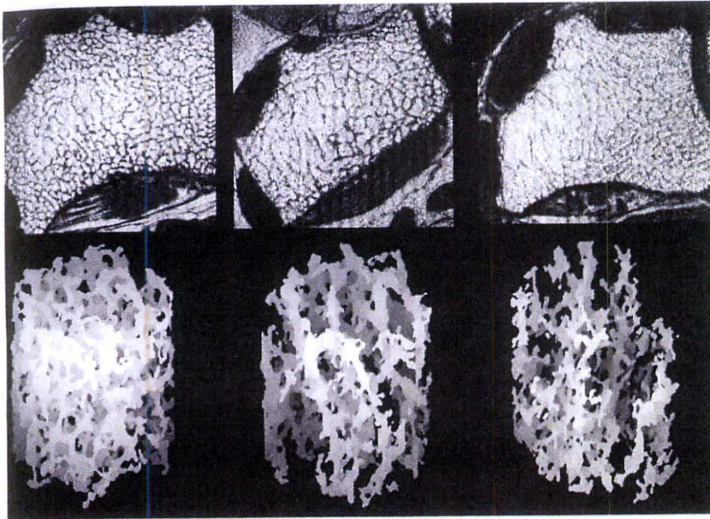


図3 橈骨遠位部の高解像度 MR 画像
In vivo で撮像した MR 二次元画像(上段)
 と三次元再構成画像 (virtual core) (下段)。
 左より, 68 歳, 69 歳, 87 歳女性の橈骨
 遠位部である。

(文献 17 より引用)

質骨内小腔の評価¹⁶⁾などを可能とし、骨代謝学への貢献は大きい。

3 *In vivo* 海綿骨梁構造評価

1. X線写真

X線写真は高い空間分解能を有し、骨梁構造を視覚的に評価できる。骨粗鬆症の椎体では、横方向の骨梁が減少し縦方向の骨梁が目立ってくる現象が観察できる。被験者のポジショニング・撮影・現像処置の条件、画像処置の規格化が難しく、再現性の高い定量化は困難で、そのため骨折リスクの評価、骨粗鬆症診断には役立つが、モニタリングには適さないと考えられる。

2. 高分解能 MR を用いた骨梁構造解析

侵襲なく *in vivo* に骨梁構造を評価できる方法として、高解像度 magnetic resonance imaging (MRI) が検討されている。MRI は X 線被曝の問題はなく、骨梁構造を三次元的に 100 ミクロン程度の空間分解能で観察できる点で、臨床応用が期待される方法である。骨梁描出に必要な高感度のサーフィスコイルを用いるので、体表に近い末梢骨(指骨・踵骨・膝蓋骨・橈骨遠位部)の描出に限って適用される(図3)ことと、撮像時間が長いことが問題である¹⁷⁾。ところが、最近では高磁場 MRI 装置を用いて、特殊なシーケンスを用いて大腿骨近位部でも骨梁構造の高解像度 MR 画像が得られるようになってきた。

3. 末梢骨用高解像度 CT による骨梁構造解析

末梢骨である橈骨、脛骨を対象に、等位性に 82 ミクロンの解像度で微細構造を解析する装置 Xtreme CT (ScancoMedical 社製) が用いられ、*in vivo* に低被曝で骨梁構造の加齢変化や骨折群の検出に役立つことが示されている。適用は末梢骨に限られる。

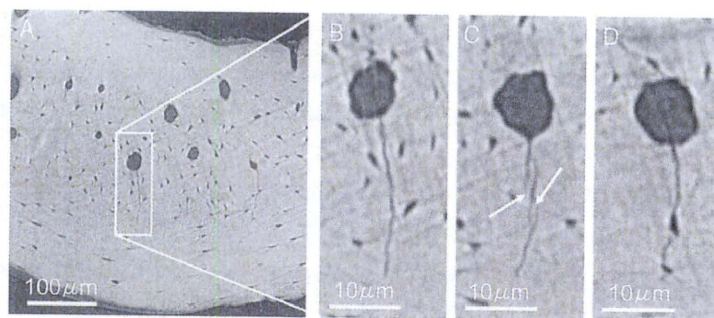


図4 シンクロトロンCTで観察したマイクロクラック
マイクロクラックの進展と血管腔、骨細胞小腔の関係を示す。
(文献19より引用)

4. MDCTを用いた骨梁構造解析

躯幹骨は末梢骨よりも骨折リスクの評価に感度が高いので、脊椎骨梁構造を評価する意義は大きい。筆者らは多列検出器を有する臨床用CT(MDCT)を用いて、腰椎海綿骨梁構造を三次元的に可視化し、構造パラメータを算出して臨床の有用性を検討した¹⁸⁾。骨折群では非骨折群に比べて、BV/TVは少なく、Tb.Thは狭く、Tb.Spは大きく、棒状の構造が相対的に多く(SMIが高値)、連結性は低く、構造の複雑性(fractal dimension)も低かった。またMDCTで算出した骨梁構造パラメータは、DXAで測定する骨密度以上に骨折リスクを予知できることが考えられた。現在のテクノロジーでは、高い解像度を得るにはX線被曝量が高くなることは十分理解して適用を考える必要がある。テクノロジーの進歩によって、一般臨床への応用が可能になることを期待したい。

4 皮質骨微細構造

皮質骨微細構造は高い解像度を有するシンクロトロンCTや組織像で評価される。前者では三次元的評価が可能であるので、皮質骨に認められる小腔(血管腔と骨細胞小腔の拡大)の辺縁は、マイクロクラックが発生しやすい部位になるため、皮質骨多孔化亢進は骨脆弱性と関係があると考えられている。シンクロトロンCTを用いて三次元的にマイクロクラックの形状を評価し、その進展をみた研究が行われている(図4)¹⁹⁾。

(伊東昌子)

文献

- 1) Beck TJ, Looker AC, Ruff CB, et al : Structural trends in the aging femoral neck and proximal shaft: analysis of the third national health and nutrition examination survey dual-energy X-ray absorptiometry data. J Bone Miner Res 15 : 2297-2304, 2000
- 2) Szulc P, Duboeuf F, Schott AM, et al : Structural determinants of hip fracture in elderly women: re-analysis of the data from the EPIDOS study. Osteoporos Int 17 : 231-236, 2006
- 3) Ito M, Sone T, Fukunaga M : Effect of minodronic acid hydrate on hip geometry in Japanese

- women with postmenopausal osteoporosis. *J Bone Miner Metab* 28 : 334-341, 2010
- 4) Bonnick SL, Beck TJ, Cosman F, et al : DXA-based hip structural analysis of once-weekly bisphosphonate-treated postmenopausal women with low bone mass. *Osteoporos Int* 20 : 911-921, 2009
 - 5) Mayhew P, Thomas CD, Clement JG, et al : Relation between age, femoral neck cortical stability, and hip fracture risk. *Lancet* 366 : 129-135, 2005
 - 6) Ito M, Wakao N, Hida T, et al : Analysis of hip geometry by clinical CT for the assessment of hip fracture risk in elderly Japanese women. *Bone* 46 : 453-457, 2010
 - 7) Ito M, Nishida A, Nakamura T, et al : Differences of three-dimensional trabecular microstructure in osteopenic rat models caused by ovariectomy and neurectomy. *Bone* 30 : 594-598, 2002
 - 8) Ito M, Nakamura T, Matsumoto T, et al : Analysis of trabecular microarchitecture of human iliac bone using microcomputed tomography in patients with hip arthrosis with or without vertebral fracture. *Bone* 23 : 163-169, 1998
 - 9) Ikeda S, Morishita Y, Tsutsumi H, et al : Reductions in bone turnover, mineral, and structure associated with mechanical properties of lumbar vertebra and femur in glucocorticoid-treated growing minipigs. *Bone* 33 : 779-787, 2003
 - 10) Asaba Y, Ito M, Fumoto T, et al : Activation of rennin-angiotensin system induces osteoporosis independently of hypertension. *J Bone Miner Res* 24 : 241-250, 2009
 - 11) Ito M, Nishida A, Koga A, et al : Contribution of trabecular and cortical components to the mechanical properties of bone and their regulating parameters. *Bone* 31 : 351-358, 2002
 - 12) Mori H, Tanaka M, Kayasuga R, et al : Minodronic acid (ONO-5920/YM529) prevents decrease in bone mineral density and bone strength, and improves bone microarchitecture in ovariectomized cynomolgus monkeys. *Bone* 43 : 840-848, 2008
 - 13) 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
 - 14) Jiang Y, Zhao JJ, Mitlak BH, et al : Recombinant human parathyroid hormone (1-34) [teriparatide] improves both cortical and cancellous bone structure. *J Bone Miner Res* 18 : 1932-1941, 2003
 - 15) Ishii K, Fumoto T, Iwai K, et al : Coordination of PGC-1 β and iron uptake in mitochondrial biogenesis and osteoclast activation. *Nat Med* 15 : 259-266, 2009
 - 16) Lane NE, Yao W, Balooch M, et al : Glucocorticoid-treated mice have localized changes in trabecular bone material properties and osteocyte lacunar size that are not observed in placebo-treated or estrogen-deficient mice. *J Bone Miner Res* 21 : 466-476, 2006
 - 17) Ladinsky GA, Vasilic B, Popescu AM, et al : Trabecular structure quantified with the MRI-based virtual bone biopsy in postmenopausal women contributes to vertebral deformity burden independent of areal vertebral BMD. *J Bone Miner Res* 23 : 64-74, 2008
 - 18) Ito M, Ikeda K, Nishiguchi M, et al : Multi-detector row CT imaging of vertebral microstructure for evaluation of fracture risk. *J Bone Miner Res* 20 : 1828-1836, 2005
 - 19) Voide R, Schneider P, Stauber M, et al : Time-lapsed assessment of microcrack initiation and propagation in murine cortical bone at submicrometer resolution. *Bone* 45 : 164-173, 2009

III-11

虚弱高齢者の転倒予防を目的とした運動プログラム

はじめに

転倒予防をめざす運動プログラムは、対象者の条件によって多岐にわたると考えられる。本書でははじめに「虚弱高齢者の転倒予防を目的とした運動プログラム」を、そして「健常者の転倒予防を目的とした運動プログラム」と「転倒予防を企図した太極拳のすすめ」について述べる。

1. なぜ転倒が問題なのか

転倒とは自分の意志からではなく、地面または地面より低い場所に、膝や手などが接触することと定義され、その研究は1940年代にイギリスを中心に欧州ではじまった。高齢者の生活機能の自

立や生活の質(QoL)を阻害する要因である転倒の発生は、わが国では1年間で約10~20%であり、そのうちの約10%が骨折にいたる¹⁾。高齢者の大腿骨頸部骨折の原因は80%以上が転倒であり²⁾、機能回復には長期間の入院治療が必要となるため、身体機能の低下が加速される。その結果、歩行困難や杖歩行を余儀なくされ、活動範囲が一段と制限される。幸い骨折にまではいたらなくても、転倒を経験することにより移動の自信感を失う転倒後症候群が生ずることもある(図1)。転倒恐怖感のために活動が制限されると筋力の低下が加速され、生活機能障害の引き金となる。

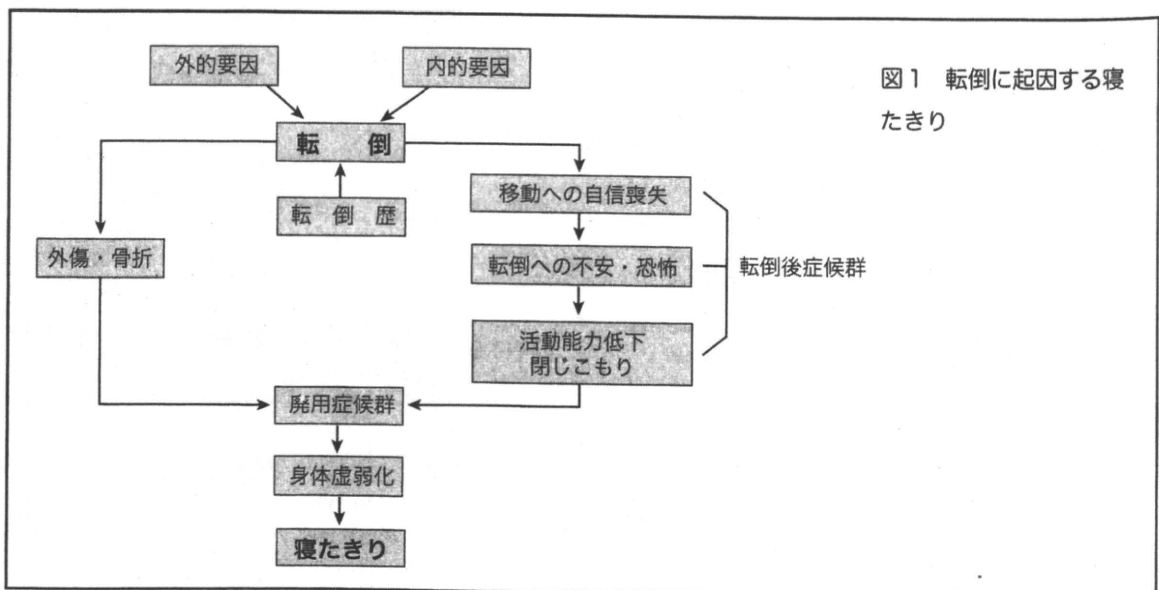


図1 転倒に起因する寝たきり

2. 転倒の危険因子

転倒の原因はさまざまに複雑である。それは、転倒には老化や老年病、さらには物的環境など多種多様の危険因子が相互に関連しているからである。転倒の危険因子は大きく、身体的要因を主とする内的要因と生活環境要因を主とする外的要因、そして転倒の既往に分けられる。

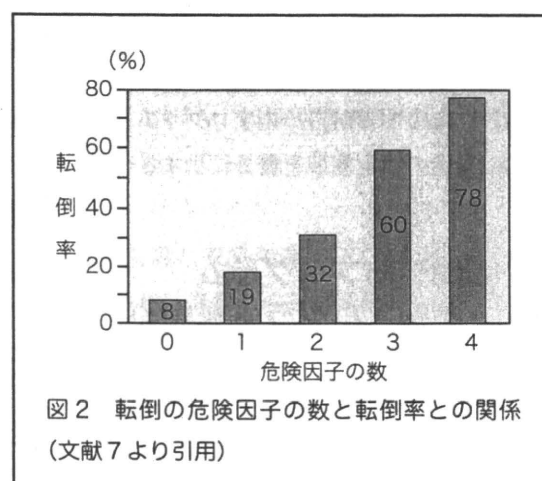
転倒の危険因子を総合的にまとめた先行研究(表1)によれば、転倒の相対的な危険度(RR)は筋力の低下(RR = 4.4)、転倒歴(RR = 3.0)、歩行障害(RR = 2.9)、バランス障害(RR = 2.9)が高く、他に視力障害、関節炎、ADL障害、認知機能障害、年齢80歳以上と関連する³⁾。これらの危険因子は、改善不可能な要因、改善に時間を要する要因、改善の可能性が高い要因に分類できる。

3. 転倒ハイリスク者の身体機能の特徴

転倒発生率について5年間追跡調査した鈴木らの報告⁴⁾によれば、歩行速度が遅い群(26.3%)は速い群(11.4%)に比べて複数回の転倒発生率が高いことから、歩行機能の重要性を唱えている。金ら⁵⁾は、東京都老人医療センター「転倒外来」を受診した外来患者の転倒の実態とその意識および身体機能の特徴について調査し、対象者の70.7%が過去1年の間に転倒の経験があることを報告している。さらに、2回以上の複数回の転倒をした人は55.2%であり、転倒恐怖感のために外出など日常の活動が制限される人は、制限されない人よりも歩行速度が遅く、バランス能力が悪く、筋力が弱いとの特徴を指摘している。また、高齢者の寝たきりの原因の1つとして知られている大腿骨頸部骨折の危険因子は、横に転ぶこと(OR = 3.9)、低い骨密度(OR = 1.8)、歩行障

表1 先行研究で検討されている転倒の危険因子

危険因子	相対的危険度 (RR)
筋力の低下	4.4
転倒歴	3.0
歩行障害	2.9
バランス障害	2.9
補助器具の使用	2.6
視力障害	2.5
関節炎	2.4
ADL障害	2.3
うつ病	2.2
認知機能障害	1.8
年齢80歳以上	1.7



害(OR = 6.4)である⁶⁾と指摘され、側面バランス能力の改善が重要であることが示唆される。

4. 転倒を予防するための対策および重点対象者

転倒は転倒関連危険因子の数と深く関連し、転倒率は危険因子の数に比例してほぼ直線的に増加することをTinettiらは報告している(図2)⁷⁾。

III. 疾患別運動プログラム

表2 転倒予防プログラムの対象者の選定基準

1. 重点対象者

- (1) 過去1年間で転んだ経験がある人
- (2) 転ぶことを怖く感じる人
- (3) 転ぶことが怖くて外出を控える人
- (4) 介護保険で要支援と認定された人
- (5) 介護保険申請をしたが自立と判定された人

2. 対象者のグループ分け

- (1) 体力・健康水準が高いグループ
- (2) 体力・健康水準が低いグループ
- (3) 体力・健康水準が低く、かつ痛み（腰・膝など）をもつグループ

転倒関連危険因子を1つ減らすことで、転倒の頻度や転倒後遺症に大きな効果をもたらす。転倒を予防するためには、多くの内的要因のうちの可変的要因および外的要因に当てはまる因子を改善する方法しかない。

転倒予防プログラムは転倒の危険性の高い人を対象の中心とするが、そのプログラムを適用する際の対象者の選定基準を表2に示す。

5. 転倒予防プログラム —運動プログラムを中心に—

転倒率の減少を目的とした介入プログラムには、運動中心プログラム、教育中心プログラム、環境改善プログラム、ヒッププロテクターなどの装具を用いる方法など多岐にわたる。本項では、運動中心プログラムに焦点をあてて紹介する。運動を中心とする介入プログラムは、在宅高齢者を対象とする介入と施設入所者を対象とする介入に分けられる。

1) 運動中心プログラムの実際

高齢者の転倒予防に有用な方法について調べたアメリカのYale大学のFICSIT研究成果によれば⁸⁾、筋力強化運動と環境整備が最も有効である

ことが示唆されている。過去の研究を総合すると、①介入成果が得られない例^{9) 10)}、②身体機能の改善には有効であるが転倒率の低下には効果が得られない例^{11) ~ 13)}、③転倒率の低下や転倒恐怖感の改善効果を得た例^{14) ~ 17)}などさまざまである。このことから、運動プログラムを適用する際には対象者の個々の特性を詳細に把握し、対象者特有の危険因子の改善をめざす指導が必要である。プログラムの目的は、転倒予防に対する意識を高めること、転倒予防に有効な筋力強化、バランス能力の向上、歩行機能の改善を図ることなどである。

2) 運動種目

推奨される運動としては、柔軟性や筋力、筋持久力の強化運動、バランスや歩行機能の改善をめざす運動である。筋力強化運動としては自重負荷体操、バンド運動、ダンベル運動、ボール運動、マシン運動などがあり、バランス機能を高めるためには片足立ち、セミタンデムスタンス、タンデムスタンス、タンデム歩行、バランスパットを使用した訓練、ボール運動、太極拳など、また歩行機能を向上するためには、横歩き、重心移動歩行、正しい歩行指導が必要である。

3) 指導形式

①集団監視型指導

i) 在宅高齢者を対象とした介入

先行研究における高齢者の運動介入プログラムを総括してみると、指導頻度は週3回、観察期間は6ヵ月～1年あるいは2年が多い。プログラムの主な内容は、転倒の内的要因とされる筋力、バランス、持久力、歩行などの身体機能の改善を目的としたものが多い。

ii) 施設入所者を対象としたプログラム

施設入所者を対象とした介入プログラムを総合的にまとめると、指導期間は3～4ヵ月間、指導









転倒予防体操実践記録カード（1回目）

1. 実施者：氏名 _____ 年齢： _____（歳）

2. 日頃の運動習慣を身につけましょう。

3. 各動作はゆっくりおこなひましょう。

4. 体操の目安：1項目について5～10回反復、1日2～3セット。できれば毎日おこなひましょう。

番号	月日	基本体操					足の筋力アップ			運動時間	特記事項
											
1											
2											
3											
14											

*記録方法：実施したら ○、実施しなかったら ×、運動時間は1日の運動量（例：20分×2回=40分）

*特記事項：転倒や骨折、腰痛や膝の痛みなどの突然の出来事

月 日（ 曜日）第2回目の転倒予防体操教室開催日！

図3 転倒予防体操実践記録カード

方法は理学療法士らによる1対1あるいは集団指導、1回あたりの指導時間は30～45分間、頻度は週3回、プログラムの内容は柔軟体操、筋力、バランス、移動能力の改善をめざす多様なプログラム、追跡期間は1～3年間である。慢性障害を有する虚弱な長期施設入所者に転倒予防を目的とする運動プログラムを適用しても介入効果が得られる期待は低いことから、個人個人の障害の種類や程度を考慮した介入プログラムを提供することが望ましい。

②家庭用運動プログラム

地域高齢者の転倒率と転倒によるけがを減らす方法として、家庭用介入プログラムに関する関心が高まり、数多くの研究成果が報告されている。主な内容を見ると、漸増的な筋力強化、バランス能力、歩行能力の改善をめざすものが多くみられる。30分の運動ビデオテープを配布する方法、看護師や理学療法士らが運動プログラムを配布する方法などが採択されており、これらに基づいた

運動を週3回以上、各回30分間程度おこなうように指導している。指導期間は3～12ヵ月に設定されている。

③監視型指導と家庭用運動プログラムの併用

われわれは、高齢者の転倒予防をめざす介入プログラムの内容として、バランス能力の改善、筋力強化、歩行機能の改善に有効な要素を中心に構成している。転倒ハイリスク虚弱高齢者の指導（運動・生活）に取り組むときには、監視型の集中指導よりも、自己管理型の指導形式をとり、日頃の運動習慣を身につけさせ、活動的な生活習慣へと改善させることが大切であると考えている。モチベーションを高めるために、家庭でおこなった運動量を「転倒予防体操実践記録カード」（図3）に記録し、次回の教室参加時に持参するよう指導している¹⁸⁾。