

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 (プレドニゾロン) 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/tp1122-1m01.pdf>

I. 概念

© 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、シンクロトロン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、シンクロトロン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次元的に再構築し、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

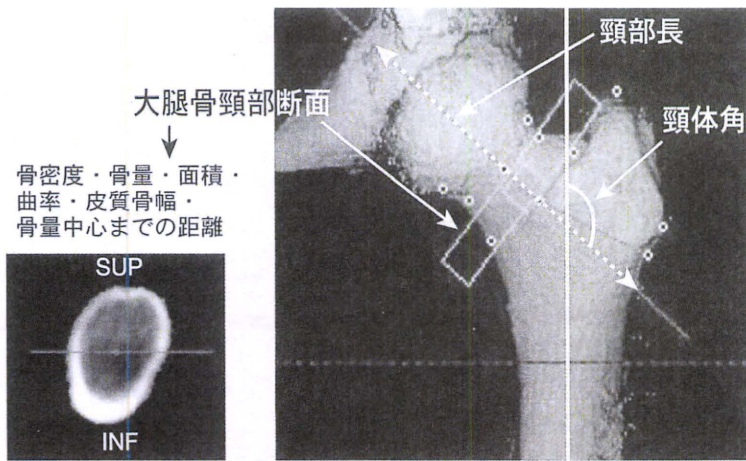


図1 三次元CT画像による大腿骨近位部ジオメトリ評価
頸部長軸に直交する大腿骨頸部横断面像を得て、その画像より、全骨・皮質骨・海綿骨の骨密度・骨量・面積、ならびに曲率、皮質骨幅・骨量中心までの距離を算出する。そして骨強度指標CSMI(断面二次モーメント〔曲げ強度の指標〕)やBR(buckling ratio〔cortical stabilityの指標〕)を算出する。

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ネ酸投与の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。

1. 概念

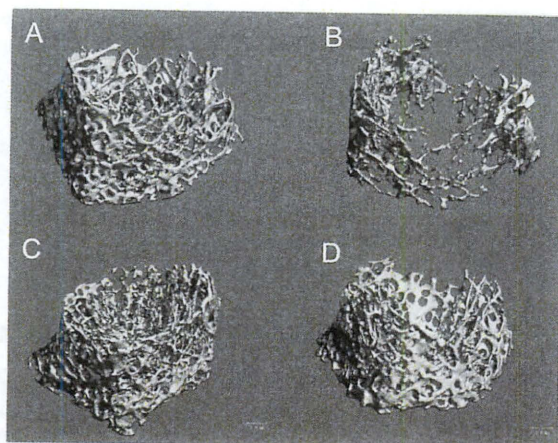


図2 カニクイザル大腿骨遠位部海綿骨マイクロCT画像

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

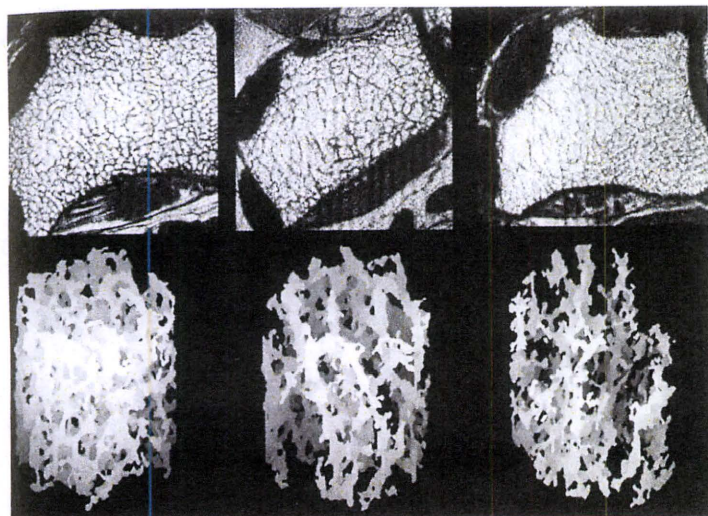


図3 橈骨遠位部の高解像度 MR 画像
In vivo で撮像した MR 二次元画像(上段)
 と三次元再構成画像 (virtual core) (下段)。
 左より, 68 歳, 69 歳, 87 歳女性の橈骨
 遠位部である。

(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。

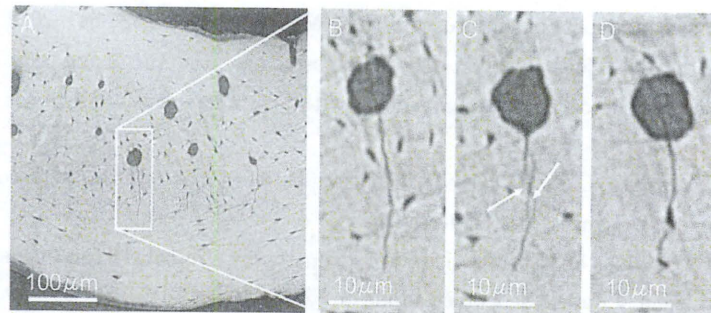


図4 シンクロトロンCTで観察したマイクロクラック
マイクロクラックの進展と血管腔、骨細胞小腔の関係を示す。
(文献19より引用)

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測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。

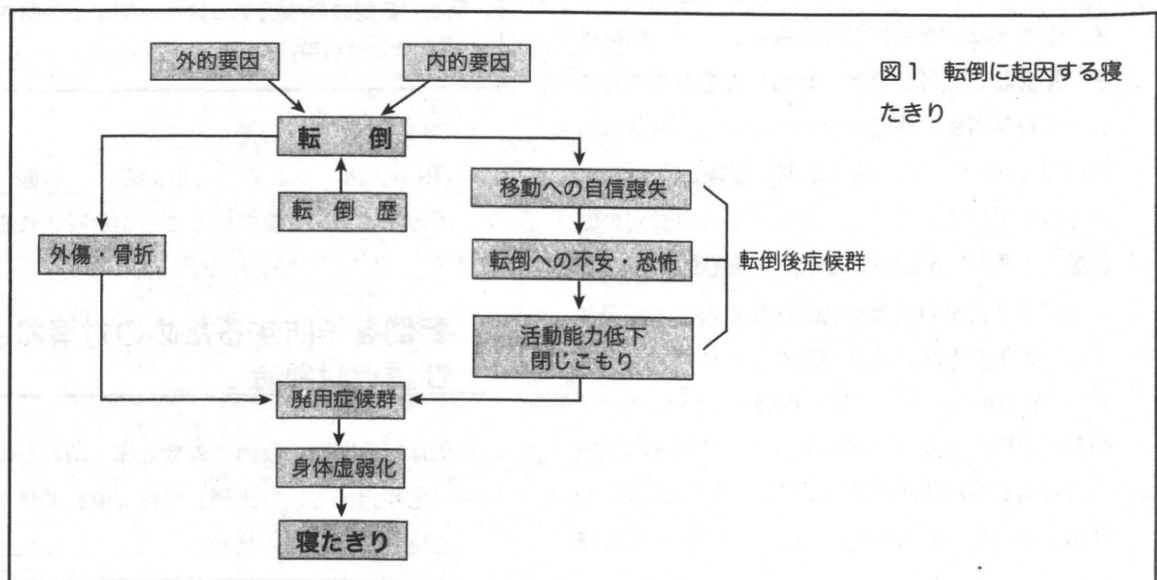


図1 転倒に起因する寝たきり

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な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。

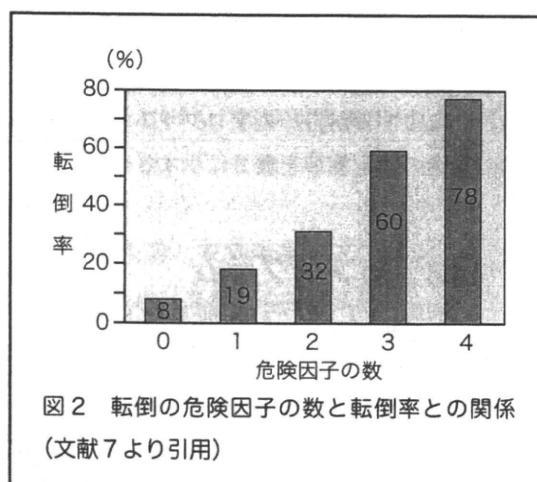
転倒の危険因子を総合的にまとめた先行研究(表1)によれば、転倒の相対的な危険度(RR)は筋力の低下(RR = 4.4)、転倒歴(RR = 3.0)、歩行障害(RR = 2.9)、バランス障害(RR = 2.9)が高く、他に視力障害、関節炎、ADL障害、認知機能障害、年齢80歳以上と関連する³⁾。これらの危険因子は、改善不可能な要因、改善に時間を要する要因、改善の可能性が高い要因に分類できる。

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

11. 虚弱高齢者の転倒予防を目的とした運動プログラム

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。主な内容をみると、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⁾。

III. 疾患別運動プログラム



図4 要支援者を対象に実践した転倒予防教室風景

6. 運動プログラムの例

1) 集中監視型指導 (図4, 図5)

①指導の概要

- (1) 指導期間：3ヵ月
- (2) 指導時間：1回あたり90分間（運動指導60分間，生活指導30分間）
- (3) 運動頻度：週2回

②運動プログラムの内容

- (1) 基本運動：ストレッチ中心
- (2) 主運動
 - (i) 筋力強化：筋力強化運動，ゴムバンド運動など
 - (ii) バランス能力の改善：バランス訓練，ボール運動など
 - (iii) 歩行能力の改善：横歩き，転びにくい歩き方など
- (3) 補助運動：椅子などを利用
- (4) 整理運動：ストレッチ中心

2) 監視型指導+家庭用運動プログラムの混合型

①指導の概要

- (1) 指導期間：6ヵ月
- (2) 指導時間：1回あたり90分間
- (3) 指導頻度：2週1回+家庭用運動プログラム
- (4) 指導の構成
 - (i) 事前調査・測定
 - (ii) 事後調査・測定
 - (iii) 指導：運動指導（10回），生活指導（5回），健康相談（随時）
 - (iv) 結果説明会
 - (v) フォローアップ：1～2年

②運動プログラムの内容

- (1) 基本運動：ストレッチ中心
- (2) 主運動
 - (i) 筋力強化：筋力強化運動，ゴムバンド運動，ダンベル運動など
 - (ii) バランス能力の改善：バランス訓練，ボール運動，太極拳など
 - (iii) 歩行能力の改善：横歩き，転びにくい歩



図5 後期高齢者を対象に実施した転倒予防教室風景

き方、ステップ台使用など

- (3) 補助運動：椅子などを利用
- (4) 整理運動：ストレッチ中心

③家庭用運動プログラムの構成

- (1) 1回目：基本体操＋軽い足の筋力強化
- (2) 2回目：基本体操＋軽い足・腹部の筋力強化
- (3) 3回目：基本体操＋軽い足・腹部・腰の筋力強化
- (4) 4回目：基本体操＋軽い足・腹部・腰の筋力強化＋補助運動
- (5) 5～10回目：基本体操＋漸増負荷の足・腹部・腰の筋力強化＋補助運動

7. 指導の段階

1) 第1期：基本体力づくり期

①指導の目安

- (1) 柔軟体操：80%
- (2) 筋力強化体操：20%

②指導のポイント

虚弱高齢者の場合、膝や腰に負担がかからないように、初期段階には椅子に腰掛けた姿勢で、刺激される部位を意識するように指導する。各動作はゆっくりおこなうように指導する。

2) 第2期：筋力強化期

①指導の目安

- (1) 柔軟体操：20%
- (2) 筋力強化運動：80%

②指導のポイント

立位が困難な人は椅子に腰掛けておこなう。円背により仰向きが困難な人は、枕やスポンジを後頭部に入れておこなう。腰痛の人は腹筋運動に注意する。新しく導入した運動については十分説明したうえで、徐々に習熟すればよいことを伝える。

3) 第3期：筋力・バランス能力改善期

①指導の目安

- (1) 柔軟体操：10%
- (2) 筋力強化運動：50%
- (3) バランス訓練：40%

III. 疾患別運動プログラム

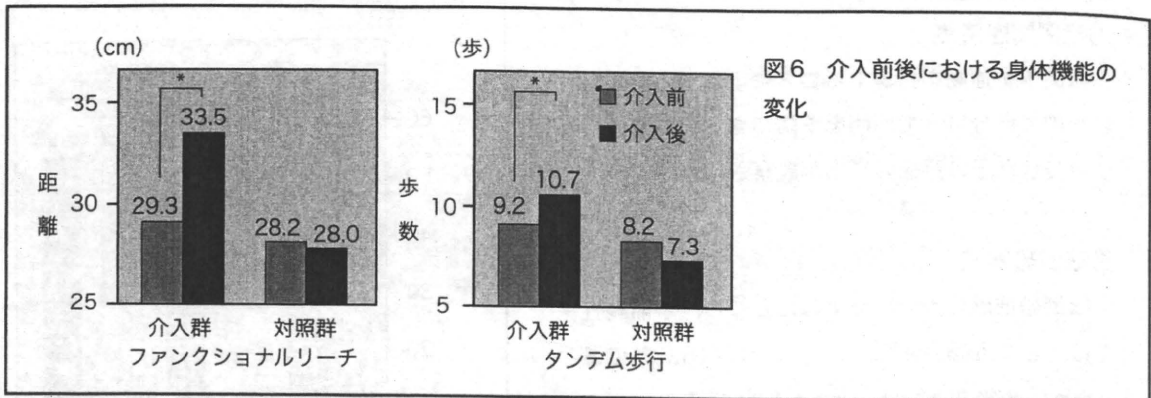


図6 介入前後における身体機能の変化

②指導のポイント

バランス訓練のときには、初期段階には時間をかけてゆっくりおこない、補助者を配置するなど細かな注意をはらう。

4) 第4期：筋力・バランス・歩行能力改善期

①指導の目安

- (1) 柔軟体操：10%
- (2) 筋力強化運動：30%
- (3) バランス訓練：30%
- (4) 歩行訓練：30%

②指導のポイント

体力水準や健康状態などを考慮し、すべての運動をおこなうことに力点を置くのではなく、自分に合った運動を選択する能力を高めるように指導する。バランス訓練や歩行訓練の際には、補助者を配置するなど安全面に注意する。

8. 地域高齢者の転倒予防をめざす運動プログラムの効果

われわれは、74歳以上の地域在住高齢者52名を介入群(28名)と対照群(24名)に分けて、介入群には転倒予防をめざす運動指導を2週間に1回の会場集団指導と、図3に示したような

家庭用運動プログラムを6ヵ月間にわたって提供した¹⁸⁾。その後、8ヵ月目、20ヵ月目に追跡調査をおこなった²²⁾。以下に、得られた主な成果について述べる。

1) 体力の改善

①主観的体力

転倒予防運動によって、身体が柔らかくなり、足の筋力が向上し、歩行が安定したなどの主観的体力に変化が観察された。

②客観的体力

介入前後の身体機能の変化を比較した結果、介入群ではファンクショナルリーチ(前：29.3 ± 4.2 cm, 後：33.5 ± 4.7 cm)、タンデム歩行(前：9.2 ± 2.7 歩, 後：10.7 ± 0.9 歩)、下肢伸展力(前：19.9 ± 6.1 kg, 後：21.6 ± 4.3 kg)で有意な改善効果がみられたが、対照群では低下する傾向にあった(図6)。

プログラム終了後の身体機能の変化について追跡調査をおこなったところ、介入によって改善された身体機能は時間の経過とともにある程度は低下するが、開眼片足立ち、最大歩行速度、膝伸展力、ファンクショナルリーチは高い水準を維持していた。

2) 転倒関連要因

① 転倒関連意識

転倒予防運動を指導することによって、参加者の6割に自分自身で転倒を予防できるとの自信が、ついてきたとの意識の変化が観察された。

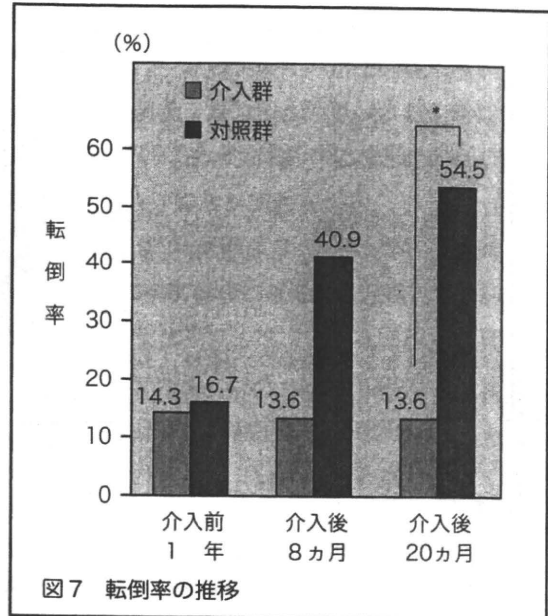
② 転倒恐怖感

転倒恐怖感についてたずねたところ、事前調査では、とても怖い40.6%、少し怖い15.6%であったが、事後調査では、とても怖い18.8%、少し怖い40.6%に改善した¹⁹⁾。Arfkenら²⁰⁾とHowlandら²¹⁾は、転倒恐怖感を解消する処方が必要であると強調しているが、今後さらなる検討が必要である。

③ 転倒率

集団監視型運動プログラムに参加した人は、参加していない人に比べて、介入後初回転倒までの期間が延長し、転倒発生率や危険因子も有意に低下したと報告されている。身体機能が弱い人に転倒の危険性が高いことを考えると、対象者の状況を詳細に把握したうえで、参加者が継続して実行できる運動プログラムを提供することが肝要であると考えられる。

監視型指導と家庭用運動プログラムを併用する介入の有効性を検討するために、介入前の転倒率を調査した。介入前1年間の転倒率は、対照群16.7%、介入群14.3%であった。6ヵ月間の介入終了後、第1回目の追跡期まで(8ヵ月間)に発生した転倒率は対照群40.9%、介入群13.6%となった。その20ヵ月後に第2回目の追跡調査をおこない、累積転倒率を調査したところ、対照群54.5%、介入群13.6%であった(図7)²²⁾。介入期間中に改善された身体機能が維持され、その後の転倒率の低下につながった可能性が示唆された。



9. 転倒経験者を対象とした研究結果

転倒経験者は転倒経験がない人に比べて身体機能が劣っているとの報告が多く、さらには転倒経験が再転倒の危険因子として指摘されている(表1)。Skeltonら²³⁾は、過去1年間で3回以上転倒した65歳以上の在宅高齢女性81名を運動群50名と対照群31名に分け、運動群に週1回、1回あたり60分間、動的バランス、筋力、持久力、柔軟性、歩行機能の向上および転倒回避のための集団指導に家庭用運動プログラムを提供した。36週間指導したところ、転倒数は運動群が対照群に比べて31%も減ったことを指摘し、転倒経験者の転倒予防手段として、運動中心プログラムが有効であると強調している。

一方、Hauerら²⁴⁾は、医療処置を要する転倒負傷、あるいは転倒が原因で入院した75歳以上の高齢女性57名を運動群31名と対照群26名に分け、運動群に週3回の筋力強化、バランス訓練を3ヵ月間指導した。その結果、介入群で筋力、歩行速度、バランスなどの身体機能が有意に改善

III. 疾患別運動プログラム

した。介入群の転倒率は対照群に比べて25%減少したが、統計学的に有意ではない。転倒率の低下が有意ではない原因としては、集団の数が少ないことが起因すると指摘している。

Linら²⁵⁾は、過去4週間に転倒した65歳以上の地域在住高齢者150名を運動群50名、環境改善群50名、教育群50名に分けて、2週に1回、4ヵ月間指導したあと、2ヵ月後および4ヵ月後に2回の追跡調査をおこない、そのデータを分析している。その結果、運動群のQoLおよびバランス、歩行、転倒恐怖感、教育群に比べて有意に改善していたが、6ヵ月間の1,000人あたりの転倒率でみると、教育群2.4、環境改善1.1、運動群1.6と3群間で統計学的な有意差はみられなかった。

以上のように、転倒経験者の転倒予防を目的とした介入プログラムを提供するときには、対象者の数を十分確保するとともに対象者それぞれの特徴を十分把握したうえで、可変因子の改善を目的とした運動プログラムを提供することによって、再転倒の危険性が高い転倒経験者でも運動中心の介入が転倒率の減少に寄与する手段になると考える。

10. 施設入所者を対象とした研究結果

施設入所者を対象とした研究結果によれば、バランス、筋力、歩行速度などの身体機能、転倒率や初回転倒までの時間、転倒恐怖感に改善がみられないとの報告^{18) 19)}が多く、部分的な改善効果がみられたとの報告はわずかである。

おわりに

転倒予防をめざす運動プログラム介入は、地域在住高齢者や転倒経験者を対象とするタイプと施設入所者に対するタイプに分けられる。地域在住

高齢者や転倒経験者を対象とする運動プログラムには、監視型指導プログラム、家庭用運動プログラム、監視型指導と家庭用運動プログラムの併用型などが主流である。運動時間40～90分間、運動期間3～6ヵ月、運動強度は自覚的運動強度12～14程度で指導すれば、いずれのプログラムにおいても転倒の危険因子の減少に有効であるとの成果が得られたことから、実際の取り組みには対象者の特性や地域条件を考慮したうえで、適した運動プログラムを採用すればよいと考えられる。しかし、施設入所者に対する運動プログラムの有効性については今後さらなる検討が必要である。

文 献

- 1) (財)東京都老人総合研究所：中年からの老化予防に関する医学的研究－サクセスフル・エイジングをめざして－。長期プロジェクト研究報告書，pp. 192-198, 2000.
- 2) 五十嵐三都男：老年者の大腿骨頸部骨折－2,000骨折について－。日老医誌，32：15-19, 1995.
- 3) American Geriatrics Society：Guideline for the prevention of falls in older persons. J Am Geriatr Soc, 49：664-672, 2001.
- 4) 鈴木隆雄 他：地域高齢者の転倒発生に関連する身体的要因の分析的研究－5年間の追跡研究から－。日老医誌，36：472-478, 1999.
- 5) 金 憲経 他：高齢者の転倒関連恐怖感と身体機能－転倒外来受診者について－。日老医誌，38：805-811, 2001.
- 6) Greenspan SL, et al.：Fall direction, bone mineral density, and function：Risk factors for hip fracture in frail nursing home elderly. Am J Med, 104：539-545, 1998.
- 7) Tinetti ME, et al.：Risk factors for falls among elderly persons living in the community. N Engl J Med, 319：1701-1707, 1988.
- 8) Province MA, et al.：The effects of exercise on falls in elderly patients：A preplanned meta-analysis of the FICSIT trials. JAMA, 273：1341-1347, 1995.
- 9) Rubenstein LZ, et al.：The value of assessing falls in an elderly population：A randomized clinical trial. Ann Intern Med, 113：308-316,

- 1990.
- 10) Reinsch S, et al. : Attempts to prevent falls and injury : A prospective community study. *Gerontologist*, 32 : 450-456, 1992.
 - 11) Mulrow CD, et al. : A randomized trial of physical rehabilitation for very frail nursing home residents. *JAMA*, 271 : 519-524, 1994.
 - 12) Lord SL, et al. : The effect of a 12-month exercise trial on balance, strength, and falls in older women : A randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc*, 43 : 1198-1206, 1995.
 - 13) Hauer K, et al. : Exercise training for rehabilitation and secondary prevention of falls in geriatric patients with a history of injurious falls. *J Am Geriatr Soc*, 49 : 10-20, 2001.
 - 14) Day L, et al. : Randomized factorial trial of falls prevention among older people living in their own homes. *Br Med J*, 325 : 128-131, 2002.
 - 15) Rubenstein LZ, et al. : Effects of group exercise program on strength, mobility, and falls among fall-prone elderly men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55 : M317-M321, 2000.
 - 16) Tennstedt S, et al. : A randomized, controlled trial of a group intervention to reduce fear of falling and associated activity restriction in older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 53 : 384-392, 1998.
 - 17) Shumway-Cook A, et al. : The effect of multi-dimensional exercise on balance, mobility, and fall risk in community-dwelling older adults. *Phys Ther*, 77 : 46-57, 1997.
 - 18) 金 憲経 : 地域虚弱高齢者の総合的な機能回復を支援する体力・健康づくりシステムの構築. 科学研究補助金 (基盤研究 C) 研究成果報告書, pp. 13-36, 2003.
 - 19) 金 憲経 他 : 地域高齢者の転倒予防を目指す介入プログラムとその成果. *理学療法*, 31 : 26-32, 2002.
 - 20) Arfken CL, et al. : The prevalence and correlates of fear of falling in elderly persons living in the community. *Am J Public Health*, 84 : 565-570, 1994.
 - 21) Howland J, et al. : Covariates of fear of falling and associated activity curtailment. *Gerontologist*, 38 : 549-555, 1998.
 - 22) Suzuki T, et al. : Randomized controlled intervention for the prevention of falls in community-dwelling elderly Japanese women. *J Bone Miner Metab*, 22 : 602-611, 2004.
 - 23) Skelton D, et al. : Tailored group exercise (falls management exercise-FaME) reduces falls in community-dwelling older frequent fallers (an RCT). *Age Ageing*, 34 : 636-639, 2005.
 - 24) Hauer K, et al. : Exercise training for rehabilitation and secondary prevention of falls in geriatric patients with a history of injurious falls. *J Am Geriatr Soc*, 49 : 10-20, 2001.
 - 25) Lin MR, et al. : A randomized, controlled trial of fall prevention programs and quality of life in older fallers. *J Am Geriatr Soc*, 55 : 499-506, 2007.
- (金 憲経, 金 美芝, 田中喜代次)