

- Health Organization risk factors for predicting osteoporotic fracture risk in Japan. *Bone* 2011;49:520-5.
2. Cauley JA, Fuleihan GE, Arabi A, Fujiwara S, Ragi-Eis S et al. Official position for FRAX Clinical Regarding International Differences. *J Clinical Densitometry* 2011;13:240-262.
 3. Ferrari S, Nakamura T, Hagino H, Fujiwara S, Lange JL, Watta NB. Longitudinal change in hip fracture incidence after starting risedronate or raloxifene: an observational study. *J Bone Miner Metab* in press 2011 29;561-70.
 4. Kanis JA Hans D, Cooper C, Baim S, and Task Force of the FRAX initiative (Eugene M, Fujiwara S et al.) Interpretation and use of FRAX in clinical practice. *Osteoporos Int* 2011 22;2394-411.
 5. Cauley JA, Fuleihan EH, Luckett MM, and FRAX Position Development Conference Members (Hans DB, Cooper C, Fujiwara S et al.) *J Clin Densitom* 2011;14:227-9.
 6. Masunari N, Fujiwara S, Kasagi F, Takahashi I, Yamada M, Naskamura T. Height loss starting in middle age predicts increased mortality in elderly. *J Bone Miner Res* 2012; 27: 138-45.
 7. Bow CH, Cheung E, Cheung CL, Xiao SM, Loong C, Soong C, Tan KC, Luckey MM, Cauley JA, Fujiwara S, Kung AWC Ethnic difference of clinical vertebral fracture risk. *Osteoporos Int* 23:879-85, 2012.
 8. Tatsukawa Y, Misumi M, Yamada M, Masunari N, Oyama H, Nakanishi S, Fukunaga M, Fujiwara S. Alteration of body mass index and body composition in atomic bomb survivors. *Int J Obes* 37(8):1123-8. 2013
 9. Orimo H, Nakamura T, Hosoi T, Iki M, UeshimaK, Endo N, Ohta H, Shiraki M, Sugimoto T, Suzuki T, Soen S, Nishizawa Y, Hagino H, Fukunaga M, Fujiwara S. Japanese 2011 guidelines for prevention and treatment of osteoporosis-exccutive summary. *Arch Osteoporos* DOI 10.1007/s11657-012-0109-9. 2013
 10. Nishizawa Y, Ogta H, Miura M, Inaba M, Ichimaru, Shiraki M, Takada J, Chaki H, Hagino H, Fujiwara S, Fukunaga M, Miki T, Yoshimura N. Guideline for the use of bone metabolic markers in the diagnosis and treatment of osteoporosis (2012 edition). *J Bone Miner Metab* 2013;31:1-15.
 11. 高橋郁乃、増成直美、藤原佐枝子 高齢者の動脈硬化性疾患と骨折リスク 広島コホート調査 *Osteoporosis Japan* 2013; 21:90-93.
 12. Johansson H, Kanis JA,.....Fujiwara S,..... Zillikens MC A meta-analysis of the asociation of fracture risk and body mass index in women. *J Bone Miner Res* 2014 29:223-233.
 13. Yoshimura N, Akune T, Fujiwara S et al. Prevalence of knee pain, lumbar pain and its coexistence in Japanese men and women: The Longitudinal Cohorts of Motor System Organ (LOCOMO) study. *J Bone Miner Metabo* 2013 online
- 著書、ガイドライン
1. 藤原佐枝子 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(2012年版) (日本骨粗鬆症学会骨代謝マーカー検討委員会編) *Osteoporosis Japan* 20:33-55,2012.
 2. 藤原佐枝子 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン (骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン委員会編集) ライフサイエンス出版 2011
 3. 藤原佐枝子 骨粗鬆症診療ハンドブック 医薬ジャーナル 2012.
 4. 藤原佐枝子 骨折リスク評価におけるFRAXの有効性 新しい骨粗鬆症治療 (編 大内尉義、武谷雄二、中村耕三) p112 診断と出版社 東京
 5. 日本骨粗鬆症学会 骨代謝マーカー検討委員会 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 ライフサイエンス出

- 版 2012
6. Sugimoto T, Inaba M, Okazaki K, S Fujiwara et al. Clinical Practice Guide on Fracture Risk in Lifestyle-Related Diseases. (Ed. Committee on the Assessment of Fracture Risk in Patients with Lifestyle-Related Diseases, Japan Osteoporosis Society) Life Science Publishing Tokyo 2012
 7. 杉本利嗣 稲葉雅章、岡崎亮、藤原佐枝子ら 生活習慣病骨折リスクに関する診療ガイド ダイジェスト版 (日本骨粗鬆症学会 生活習慣病における骨折リスク評価委員会 編) ライフサイエンス出版 東京 2012
 8. 藤原佐枝子 骨粗鬆症の治療とガイドライン 診断基準とFRAX ファーマナビゲーター 活性型ビタミンD3製剤編 (太田博明、松本俊夫編) p162-7 メディカルレビュー社 東京 2012
 9. 藤原佐枝子 副甲状腺疾患、骨・運動器疾患 原爆放射線の人体影響 改定 第2版 放射線被爆者医療国際協力推進協議会 文光堂 東京 2012
 10. 藤原佐枝子 骨粗鬆症関連骨折予測の指標 p.188-9. 運動器診療 最新ガイドライン 中村耕三 編 総合医療社 東京 2012
 11. 宗圓聡、福永仁夫、杉本利嗣、曾根照喜、藤原佐枝子、遠藤直人ら 原発性骨粗鬆症の診断基準 (2012年度改訂版) Osteoporosis Japan 2013 21:9-21.
 12. 日本骨粗鬆症学会 骨代謝マーカー検討委員会 骨代謝マーカー早わかりQ&A ライフサイエンス出版 2013
 13. 藤原佐枝子 疫学調査による大腿骨近位部骨折発生率とビスホスホネート製剤処方との関連 ビスホスホネート エビデンスブック p314-8. 宗圓聡、杉本利嗣編 医薬ジャーナル社 2013
 14. 藤原佐枝子 骨粗鬆症と骨折の疫学 p48-55 ファーマナビゲーター ビスホスホネート編② 松本俊夫、萩野浩編 メディカルレビュー社 東京 2013
 15. 藤原佐枝子 FRAX p126-128 副甲状腺・骨代謝疾患診療マニュアル 平田結喜緒監修 診断と治療社 東京 2013
 16. Soen S, Fukunaga M, Sugimoto T, Sone T, Fujiwara S, Endo N, Gorai I, Shiraki M, Hagino H, Hosoi T, Ohta H, Yoneda T, Tomomitsu T, Japanese society for Bone and Mineral Research and Japan Osteoporosis Society Joint Review Committee for the Revision of the Diagnostic Criteria for Primary. Diagnostic criteria for primary osteoporosis: year 2012 revision. J Bone Miner Metabo 2013 31:247-257.
- 総説
1. 藤原佐枝子 骨粗鬆症性椎体骨折の疫学 日整会誌 85:923-7, 2011
 2. 藤原佐枝子 標準化SOS/BUAを用いた骨折のカットオフ値の検討 Osteoporosis Japan 19:627-630, 2011
 3. 藤原佐枝子 危険因子と予防 診断と治療 99: 1679-82, 2011
 4. 藤原佐枝子 骨折リスク判定ツール FRAX とは Geriatric Medicine(老年医学) 49:993-5, 2011
 5. 藤原佐枝子 骨折リスク評価ツール (FRAX) の有用性 日本臨床 69:1239-42,2011
 6. 藤原佐枝子 骨粗鬆症における骨折リスクの評価とFRAX 腎と骨代謝 24:239-44,2011
 7. 藤原佐枝子 骨粗鬆症の診断と薬物治療開始基準 医学のあゆみ 236:427-431,2011
 8. 藤原佐枝子 骨折の危険因子と個人における骨折の危険性評価—FRAXの利点と限界— The Bone 25:41-44,2011
 9. 藤原佐枝子 FRAX カレントセラピー 29:32-35,2011
 10. 藤原佐枝子 日本人へのFRAXの応用 アン

チ・エイジング医学 8;735-9,2012

11. 藤原佐枝子 骨粗鬆症性椎体骨折の疫学 整形外科最少侵襲手術ジャーナル 64;2-7,2012
12. 藤原佐枝子 FRAXからみた骨折リスク評価 骨粗鬆症治療 11;82-86,2012
13. 藤原佐枝子 FRAXに基づく骨折リスクの臨床的意義と問題点 内分泌・糖尿病・代謝内科 34;392-7 2012
14. 藤原佐枝子 骨粗鬆症治療スクリーニングの方法 ; FRAXの活用など Monthly Book Orthopaedics 25;91-7,2012
15. 藤原佐枝子 骨代謝マーカーの骨折予測について Osteoporosis Japan 20;173-8. 2012
16. 藤原佐枝子 骨粗鬆症治療スクリーニングの方法 : FRAXの活用など Orthopaedics 25;91-97, 2012
17. 藤原佐枝子 日本人におけるFRAXの応用 治療開始基準について 日整会誌 86;200-4,2012
18. 藤原佐枝子 骨粗鬆症の概念・定義・疫学 Hormone Frontier in Gynecology メディカルビュー社 20;201-4,2013
19. 藤原佐枝子 FRAXに含まれる骨折危険因子 内科 111;657-60, 2013
20. 吉村典子、中村耕三、阿久根徹、藤原佐枝子 から LOCOMOスタディー 日本臨床 71巻 増刊号2 642-5, 2013
21. 藤原佐枝子 骨粗鬆症による骨折の疫学 日本臨床 71巻 増刊号2 433-8, 2013
22. 藤原佐枝子 骨折の危険因子 図で見る骨粗鬆症2013 Osteoporosis Japan別冊 21;46-7, 2013
23. 藤原佐枝子 骨折リスクとその評価 FRAXの活用 Geriat Med 51;1037-40, 2013
24. 藤原佐枝子 骨粗鬆症の概念・定義・疫学 Hormone Frontier in Gynecology メディカルビュー社 20;201-4,2013

学会発表

1. 藤原佐枝子 日本人におけるFRAXの応用—

治療開始基準について、第84回日本整形外科学会学術集会、2011年5月12-15日、横浜

2. 藤原佐枝子 「椎体骨折評価へのアプローチ」日本人の椎体骨折の疫学、第31回日本骨形態計測学会、2011年5月20-22日、岐阜
3. Fujiwara S, Masunari N, Kasagi F, Nakamura T. Height Loss Starting in Middle Age Predicts Increased Mortality in Elderly Men and Women. American Society of Bone and Mineral Research 33rd Annual Meeting. September 16-20, 2011, San Diego, USA
4. 藤原佐枝子 ワークショップ「椎体骨折評価法のグローバル化をめざして」日本人の椎体骨折疫学、第13回日本骨粗鬆症学会、2011年11月3-5日、神戸
5. 藤原佐枝子 シンポジウム 骨代謝マーカー : ガイドライン改訂に向けて 骨マーカーの骨折予測について (Tスコアでの検討)、第13回日本骨粗鬆症学会、2011年11月3-5日、神戸
6. 藤原佐枝子 FRAXの適用と限界 2011年日本からの観点、日本骨粗鬆症学会・韓国骨粗鬆症学会合同シンポジウム、2011年11月3-5日、神戸
7. Fujiwara S, Masunari N, Harada A. Prediction of osteoporotic fracture risk based on daily activity and health status of the elderly in Hiroshima cohort. International Osteoporosis Foundation (IOF) - European Congress on Osteoporosis and Osteoarthritis (ECCEO) 2012. March 21-24, 2012, Bordeaux, France
8. 藤原佐枝子 シンポジウム「骨粗鬆症性椎体骨折診療の現状と問題点」骨粗鬆症性椎体骨折診断の疫学から見た問題点 第41回日本脊椎脊髄学会 2012年4月19-21日、久留米
9. 藤原佐枝子 シンポジウム「椎体骨折判定の最前線—判定基準改定案をめぐって」臨床研究の立場から 第14回日本骨粗鬆症学会 2012年9月27-29日、新潟
10. 藤原佐枝子 シンポジウム「骨粗鬆症による

- 椎体骨折の評価と治療」骨粗鬆症の疫学と診断 第48回日本医学放射線学会秋季臨床大会 2012年9月28-30日 仙台
11. Fujiwara S, Masunari N, Takahashi I, Ohishi W. Cardiovascular disease and risk of osteoporotic fracture in a longitudinal cohort study. International Osteoporosis Foundation Regionals, 3rd Asia-Pacific Osteoporosis Meeting. Dec 13-16, 2012, Kuala Lumpur, Malaysia.
 12. 藤原佐枝子 新しい骨粗鬆症の診断基準 2012年度A-TOP研究会年会 2013年3月9日、東京
 13. 藤原佐枝子 新しい骨粗鬆症診断基準と治療ガイドライン 第86回日本内分泌学会総会 2013年4月26日、仙台
 14. S Fujiwara Application of FRAX in Clinical Practice The 1st Soel Symposium on Bone Health of KSBMR 2013年5月12日 ソウル、韓国
 15. 藤原佐枝子 骨粗鬆症のコホート研究—広島コホート— 第86回日本整形外科学会総会 2013年5月26日、広島
 16. M. Sato, JT. Vietri, J A. Flynn, S Fujiwara. Patient characteristics associated with current treatment status among women with osteoporosis in Japan: Results of a patient survey. IOF Regionals 4th Asia-Pacific Osteoporosis Meeting. 2013enn 12月12-15日 ホンコン、中国
 17. M. Sato, JT. Vietri, J A. Flynn, S Fujiwara. Characteristics associated with history of fracture and feeling at risk for osteoporosis among women aged 50 and older in Japan: Results of a patient survey. International Osteoporosis Foundation. Asian regional meeting IOF Regionals 4th Asia-Pacific Osteoporosis Meeting. 2013enn 12月12-15日 ホンコン、中国

定量的CT画像を用いた3次元有限要素法による骨強度評価—普及に向けた解析自動化に関する検討—

研究分担者 大西五三男 国際医療福祉大学臨床医学研究センター 教授

研究協力者 別所雅彦 国際医療福祉大学臨床医学研究センター 講師

研究要旨

高齢者の骨折危険予測は画像診断や骨密度測定にて行われるが、これは骨粗鬆の程度は評価するが、構造的強度を評価できないという限界がある。定量的CT画像を用いた3次元有限要素法（CT/有限要素法）による骨強度評価は、CT画像から有限要素モデルを作成し、荷重拘束条件を設定し解析をすることにより骨強度を3次元的に評価する方法である。先行研究では、解析に複数のソフトウェアが必要であり、操作が複雑で解析に時間がかかるため、普及する障害となっている。本研究では、CT/有限要素法による骨強度評価の普及に向けた、解析ソフトウェアの開発を行った。2011年度は、解析条件入力を極力省略し、簡便に解析できる操作手順の最適化を行った。2012年度は、大腿骨近位部の荷重拘束条件の自動設定部分を開発した。最終年度、大腿骨近位部骨強度の解析信頼性の評価を行った。解析信頼性は、級内相関係数で0.9程度と実用上問題ないレベルであると考えられた。

A. 研究目的

高齢者の骨折危険予測は画像診断や骨密度測定にて行われるが、これは骨粗鬆の程度は評価するが、構造的強度を評価できないという限界がある。このため、新しい骨強度評価法の開発が望まれている。定量的CT画像を用いた3次元有限要素法（CT/有限要素法）による骨強度評価は、定量的CT画像が持つ、3次元位置情報とHounsfield unitから得られる骨密度情報を元に有限要素モデルを作成し、荷重拘束条件を設定し有限要素法解析をすることにより骨強度を3次元的に評価する方法である。海外の研究（Keyak et al., 2001, Liebschner et al., 2003, Yosibash et al., 2007, Keaveny et al., 2008）では、この骨強度評価を独自開発のソフトウェアや商用ソフトウェアなど複数のソフトウェアを駆使している。このため、操作が複雑・解析に時間が必要であり、研究レベルの状態であるため、

普及が難しい。

一方、我々は、CT/有限要素法による骨強度評価ソフトウェアを産学連携研究で開発し、実証試験により大腿骨近位部と第2腰椎について精度評価を行った（Bessho et al. 2007, Imai et al., 2006）。本研究の目的は、CT/有限要素法による骨強度評価の普及に向けた、骨強度解析ソフトウェアの開発である。2011年度は、解析条件入力を極力省略し、簡便に解析できる操作手順の最適化を行った。2012年度は、大腿骨近位部の荷重拘束条件の自動設定部分を開発した。最終年度、大腿骨近位部骨強度の解析信頼性の評価を行った。

B. 研究方法

CT/有限要素法による骨強度評価方法の流れを示す（図1）。大きく分けると以下のような手順に分類できる。

1. CT画像から骨関心領域の抽出
2. 骨関心領域から3次元骨モデルを構築
3. 3次元骨モデルから有限要素モデルを作成
4. 有限要素モデルの各要素に、各要素の骨密度に対応する材料特性を入力
5. 有限要素モデルに荷重拘束条件を設定
6. 有限要素法解析
7. 結果の表示

倫理面での配慮として、患者データの保護という観点から、解析データを暗号化する機能を開発している。

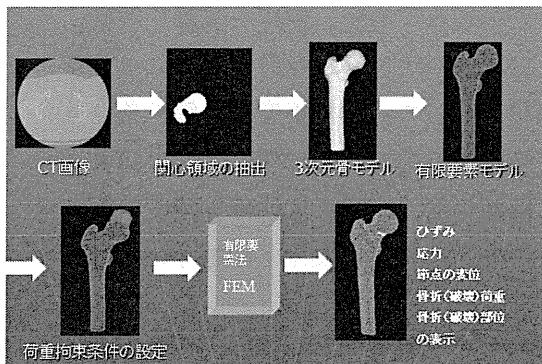


図1. 解析手順の流れ

●解析手順の流れに沿って順次解析が進められるようなメニュー構成を作成した。

メニュー画面として、「CT範囲」「ファントム」「ROI抽出」「骨軸設定」「荷重・拘束条件」「結果表示」を表示させた。(図2、3)

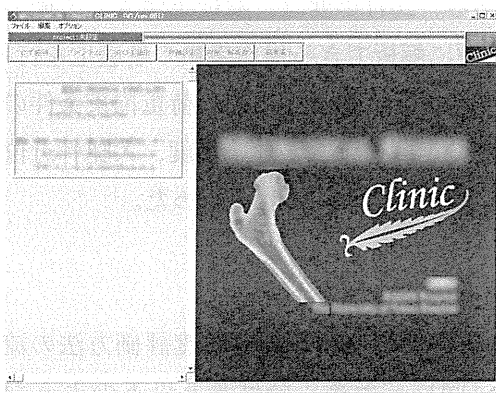


図2. ソフトウェア起動画面

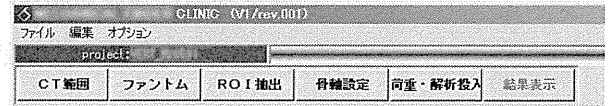


図3. メニューバー

各メニューの内容

- ・「CT範囲」：撮影した定量的CT画像のスライス範囲を設定する。
- ・「ファントム」：骨量ファントムのハイドロキシアパタイトロッドのHounsfield unitを計測し検量線を作成する。
- ・「骨軸設定」：荷重拘束条件を設定する際に必要な骨軸を設定。
- ・「荷重・拘束条件」：大腿骨に関しては立位条件と転倒条件、腰椎に関しは単軸圧縮条件を設定する。
- ・「結果表示」：予測骨折部位、予測骨折荷重の表示を行う。

●手順4を行う際に、Hounsfield unitから骨密度換算している。この手順には骨量ファントムのハイドロキシアパタイトロッドのHounsfield unitを計測し検量線を作成する必要がある。この検量線作成手順の自動化を行った。

骨量ファントム (B-MAS200 (京都科学)) は、ハイドロキシアパタイトロッドが5本あり、スライスごとに5本のハイドロキシアパタイトロッドのHounsfield unitを測定する必要がある。本研究において、ファントムの外形を設定するのみでハイドロキシアパタイトロッドの位置を自動認識し、検量線を自動的に計算可能とした (図4)。

骨量ファントム外形を矩形に範囲指定することによって (図左)、骨量ファントムの各ロッドを自動認識してHounsfield unitを測定する (図右、骨量ファントムのロッドが赤・青・ピンク・黄色・緑でそれぞれ認識されている)。

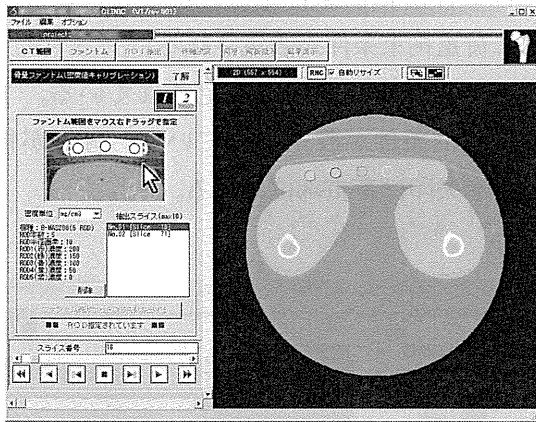


図4. ファンタム設定画面

●手順5の大腿骨近位部に対して「有限要素モデルに荷重拘束条件を設定」の自動化を行った。

定量的CT画像を用いた3次元有限要素法による骨強度評価で用いられている大腿骨近位部の荷重拘束条件は、圧縮試験で行われている方法を踏襲している（図5）。荷重拘束条件は、立位条件と転倒条件の2条件を設定した。立位条件は、大腿骨軸から20度傾けた方向から骨頭を荷重し、大腿骨遠位部分を拘束する条件である。転倒条件は、大腿骨軸から120度の方向から骨頭を荷重し、15度内旋方向から圧縮させた、大腿骨遠位・大転子部を拘束する条件である（図6）。

左が立位条件、右が転倒条件。有限要素法モデルに対する荷重拘束条件は、圧縮試験の条件を踏襲している。



図5. 大腿骨近位部の圧縮試験

立位条件：大腿骨軸から20度傾けた方向から骨頭を荷重し、大腿骨遠位部分を拘束、転倒条件：大腿骨軸から120度の方向から骨頭を荷重し、15度内旋方向から圧縮させた、大腿骨遠位・大転子部を拘束する条件

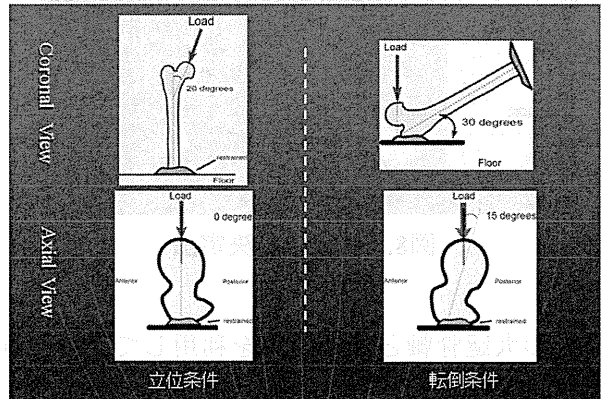


図6. 大腿骨近位部の荷重拘束条件

荷重拘束条件を設定するためには、骨幹部骨軸と骨頭中心を決定する必要がある。

骨幹部軸は、範囲指定された骨モデル表面三角形中心を「XZ投影での最小2乗法」と「YZ投影での最小2乗法」により求められた傾きを3次元座標に反映して決定した（図7）。骨頭中心は、範囲指定された骨モデルの節点の平均位置を中心と決定した（図8）。

骨幹部を範囲指定することにより自動的に骨軸が設定される。



図7. 骨軸決定法

骨頭部分を範囲指定することにより自動的に骨頭中心が算出される。

骨頭中心を算出する際の範囲指定方法



図8. 骨頭中心決定法

この大腿骨軸と骨頭中心を利用して、荷重拘束条件（立位条件・転倒条件）を自動設定した。

開発中のソフトウェアでは、

1. 骨幹部を範囲設定
2. 骨頭部を範囲設定
3. 小転子頂点をピックすることにより、骨頭中心・骨軸が設定される（図9）。その後、立位条件か、転倒条件を設定することにより、荷重拘束条件が自動設定される（図10）。

骨幹部、骨頭部を範囲設定、小転子頂点を設定することにより、大腿骨軸、骨頭軸（骨頭中心を通る、骨頭中心と大腿骨軸を含む平面に対して垂直な直線）が表示される。

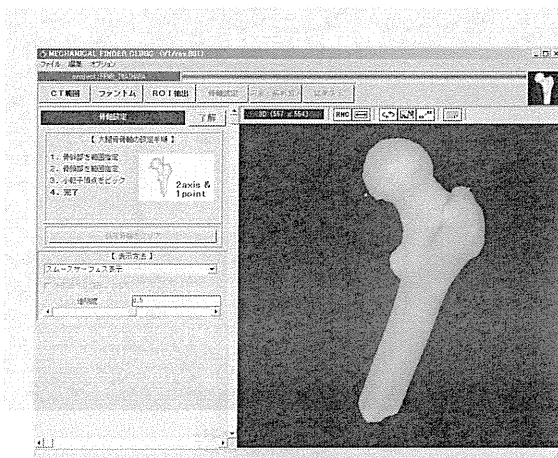


図9. 骨軸設定画面

立位条件か転倒条件を決めることにより、自動的に荷重拘束条件が設定される。

上図では、立位条件が設定されている。下図では、転倒条件が設定されている。青点が拘束部位、赤矢印は荷重部位になる。

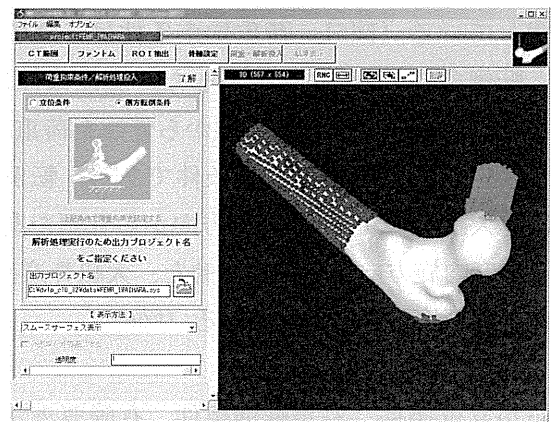
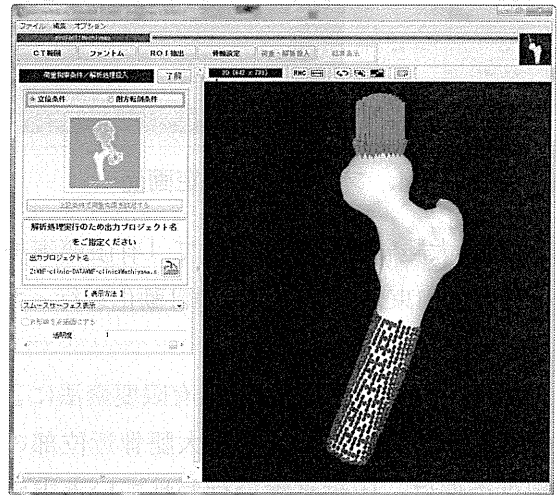


図10. 荷重拘束条件設定画面

● 大腿骨近位部の骨強度解析信頼性の検討：

解析対象は、脆弱性骨折を起こし、整形外科を受診した、女性20名（平均年齢 72.8歳）（大腿骨近位部骨折 5人、脊椎骨折 7人、上腕骨近位部骨折 4人、その他 4人）の右大腿骨近位部（右大腿骨が骨折している場合は、左大腿骨近位部）
 検者は、3名の理学療法士（A,B,C）。大腿骨近位部を1から7までの手順で、転倒・起立条件での骨強度値を解析した。

検者内信頼性は、検者Aが同一患者を2度解析

した値で評価した。Feldman, D.S. (2007) らの報告を参考に、2度目の解析は、1度目の解析を行ってから3週間以上開けた。検者間信頼性は、検者Aの1回目と検者B、検者Cの解析値で評価した。検者内・検者間信頼性は、SPSS (International Business Machines Corporation, USA) を使用し、級内相関係数 (ICC) を算出し評価した。

C. 研究結果

検者Aの1回目の立位条件の骨強度値は平均3900 N、標準偏差は799 Nであった。

転倒条件では平均1550 N、標準偏差は366 Nであった。2回目の立位条件の骨強度値は平均3950 N、標準偏差は769 Nであった。転倒条件では1530 N、標準偏差は336 Nであった (表1)。級内相関係数ICC (1,1) は、立位条件0.978、転倒条件0.892であった。

表1. 検者Aの解析値の平均

検者A	1回目	2回目
立位条件	3900±799 N	3950±769 N
転倒条件	1550±366 N	1530±366 N

(平均値±標準偏差)

各検者での解析値の平均について、立位条件では、検者A 3900 N、標準偏差799 Nであった。検者B 3940 N、標準偏差 790 N、検者C 3880 N、標準偏差 716 Nであった。転倒条件では、検者A 1550 N、標準偏差 366 N、検者B 1550 N、標準偏差 366 N、検者C 1530 N、標準偏差 366 Nであった (表2)。級内相関係数ICC (2,1) は、立位条件0.961、転倒条件 0.879であった。

表2. 各検者での解析値の平均

検者A	1回目	2回目
立位条件	3900±799 N	3950±769 N
転倒条件	1550±366 N	1530±366 N

(平均値±標準偏差)

D. 考察

CT/有限要素法を行うためには、通常いくつかの

ソフトウェアが必要になる。大きく分けると3種類のソフトウェアが必要になる。1. 「CT画像を取り込み、3次元骨モデルを作成」、2. 「3次元骨モデルを有限要素分割し有限要素モデルを作成し、荷重拘束条件を設定し有限要素法解析を行う」、3. 「有限要素モデルの各要素に骨密度に準じた材料特性を入力」である。1に関しては、Photoshop (Adobe Systems Inc., USA)、Matlab (The MathWorks, Inc., USA)、SolidWorks (SolidWorks Corporation, USA) などの汎用ソフトウェアや独自開発したソフトウェアが使用されている。

2に関しては、Abaqus (Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc., USA) やp-FE solver StressCheck (Engineering Software Research and Development Inc. USA) などの汎用の有限要素解析ソフトウェアが使用されている。3に関しては、それぞれ独自開発したソフトウェアを使用している。それぞれ別々のソフトウェアが必要になるため操作が複雑になり解析時間が必要なため、普及にはほど遠い状況である。1,2,3を含めた骨強度評価に特化したCT/有限要素法ソフトウェアは海外には存在せず。本研究では実用化を目指したソフトウェア開発を行っている。

Lantis (1977) によれば、級内相関係数が0.61~0.81でsubstantial、0.81~1.00でalmost perfectという評価をしており、一般的に0.7以上であれば信頼性は良好と考えられる。今回開発しているソフトウェアの大腿骨近位部の解析信頼性 (級内相関係数) は、0.879~0.978であったため、実用上問題ないレベルであると考えられる。

E. 結論

本研究では、CT/有限要素法による骨強度評価の普及に向けた、解析ソフトウェアの開発を行った。今年度は、大腿骨近位部の骨強度の解析信頼性の検討を行い、解析信頼性は実用上問題ないレベルであった。

骨強度評価を正確に行うことができれば、それに応じた適切な治療を行うことができ、骨折発生率を

減らすことができることが期待できる。
今後は、椎体解析の自動化を進めたいと考えている。

F. 研究発表

1. 論文発表

1. Ohashi S, Ohnishi I, Matsumoto T, Matsuyama J, Bessho M, Tobita K, Kaneko M, Nakamura K. Comparison of ultrasound speed in articular cartilage measured by different time-of-flight methods. J Med Ultrasonics 2011, 38:225-234
2. Tobita K, Ohnishi I, Matsumoto T, Ohashi S, Bessho M, Kaneko M, Nakamura K. Measurement of mechanical properties on gap healing in a rabbit osteotomy model until the remodeling stage. Clinical biomechanics 2012, 27 99-104
3. Tobita K, Ohnishi I, Matsumoto T, Ohashi S, Bessho M, Kaneko M, Matsuyama J, Nakamura K. Effect of low-intensity pulsed ultrasound stimulation on callus remodeling in a gap-healing model : EVALUATION BY BONE MORPHOMETRY USING THREE-DIMENSIONAL QUANTITATIVE MICRO-CT. The Journal of bone and joint surgery. British volume 2011; 93-4: 525-30.
4. SATORU OHASHI, ISAO OHNISHI, TAKUYA MATSUMOTO, MASAHIKO BESSHO, JUNTARO MATSUYAMA, KENJI TOBITA, MASAKO KANEKO, and KOZO NAKAMURA, EVALUATION OF THE ACCURACY OF ARTICULAR CARTILAGE THICKNESS MEASUREMENT BY B-MODE ULTRASONOGRAPHY WITH CONVENTIONAL IMAGING AND REAL-TIME SPATIAL COMPOUND ULTRASONOGRAPHY IMAGING, Ultrasound in Med. & Biol., Vol. 38, No. 2, pp. 324-334, 2012
5. 大西五三男 骨へのメカニカルストレスの評価：有限要素法 CLINICAL CALCIUM Vol.22 No.12 1845-1853, 2012
6. 別所雅彦、大西五三男ら、CT/有限要素法による非線形解析を用いた大腿骨近位部の強度評

価について-荷重拘束条件の相違による予測骨折荷重の相違について-, 化学療法研究所紀要 vol.42 p2-5, 2011

7. 別所雅彦、大西五三男ら、定量的CT画像を用いた3次元有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価-普及に向けた骨強度解析ソフトウェアの開発-, 化学療法研究所紀要 vol.43 p2-5, 2012
2. 学会発表
 1. 金子雅子(東京大学 大学院整形), 大西五三男, 別所雅彦, 松本卓也, 大橋暁, 飛田健治, 中村耕三、CT有限要素法による第2腰椎の骨強度評価 年齢別骨強度値の作成と第2腰椎の骨強度に影響する因子の解析、日本整形外科学会雑誌(0021-5325)85巻2号 PageS119 (2011)
 2. 別所雅彦, 大西五三男, 金子雅子, 松本卓也, 大橋暁, 飛田健治, 中村耕三CT/有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価 検者内・検者間解析信頼性・解析再現性について、日本整形外科学会雑誌(0021-5325)85巻2号 PageS118(2011)
 3. 金子雅子, 大西五三男, 松本卓也, 別所雅彦, 飛田健治, 田中 栄、CT有限要素法による第2腰椎の骨強度評価 年齢別骨強度値の作成と第2腰椎の骨強度に影響する因子の解析、Osteoporosis Japan Voi. 20, Suppl.1 Page 289 (2012)
 4. 金子雅子, 大西五三男, 別所雅彦, 田中栄、高齢女性の大腿骨近位部骨折リスク評価におけるCT有限要素法の有用性、J. Jpn. Orthop. Assoc., vol. 87(2), p S313, 2013
 5. 小池良直、飛田健治、下園由泰、別所雅彦、大西五三男、岡崎祐司、大腿骨顆部骨端線損傷後の大腿骨変形に対する3次元術前評価の有用性、骨折 Vol.35 p S184, Supplement 2013
 6. 大橋 暁, 大西 五三男ら、創外固定の将来展望 CT/有限要素法解析を用いた仮骨強度の経時的予測、臨床整形外科、48巻3号、241-246、

2013

G. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

1.特許取得

なし

2.実用新案登録

なし

3.その他

なし

骨折後高齢者の運動器機能悪化リスクに関する研究

研究分担者 萩野浩 鳥取大学医学部保健学科 教授

研究協力者 松本浩実 鳥取大学医学部附属病院 理学療法士

研究要旨

骨折後高齢者の運動器の評価及び骨折から1年後の運動器悪化リスクに関する調査を行った。骨折後高齢者は研究施設に骨折治療で入院したもののうち、骨折前に自立生活し、歩行自立で自宅退院した100例を対象とした。退院時に運動機能検査及び3軸加速度計による歩行分析を行い、骨折から1年後に転倒・再骨折の発生、ADL悪化、介護保険認定の有無に関するフォローアップ調査を行った。

初年度、次年度はベースラインデータの横断的研究を行った。その結果、骨折後高齢者は健常高齢者と比べると著しく運動機能が低いことが明らかとなった。最終年度は縦断的研究を行い、85例からフォローアップ調査の返信を得た。結果、85例中34例（40%）に転倒が発生し、そのうち11例は再骨折を起こしていた。ADLは骨折前と比べ、骨折1年後に有意に低下していた。さらに骨折時に介護保険未認定であった51例中、10例（19.6%）が骨折後1年間で新たに介護認定を受けた。多変量解析の結果、転倒リスク、再骨折リスク、ADL悪化リスクともに加速度計による歩行分析から得た歩行加速度の大きさ、規則性、ばらつきなどの値が、それらを予測する因子として抽出された。

骨折によって運動機能は著しく低下し、その後の転倒、再骨折、ADL悪化や介護保険認定に影響を及ぼすことが明らかとなった。骨折後高齢者における骨折後の転倒、再骨折、ADL悪化などのリスク判別において、3軸加速度計を用いた歩行分析を退院時に行うことは、それらの有用なリスク指標となる可能性がある。

A. 研究目的

骨折患者は加齢に伴い急増している。大腿骨近位部骨折は本邦では上昇傾向にあり、50歳以上の女性では5人に1人の割合で発生する[1]。またスウェーデン女性の46.4%が一生のうちに主な骨折（椎体、股関節、前腕など）を経験すると報告されている[2]。

さらに骨折治療後の再骨折も増加しており、大腿骨近位部骨折患者の再骨折は年間0.034～0.043人に起こり[3, 4]、特に反対側の骨折リスクが明らかに高いことが明らかになっている。また、どの部位の骨折であろうと骨折リスクは既存骨

折がない場合と比較し2倍となる[5, 6]。Ruanら[7]は椎体圧迫骨折の既往、大腿骨近位部骨折の既往は再骨折の危険因子であることを報告し、Lylesら[8]は大腿骨近位部骨折既往では3倍、その他の骨折既往では1.8倍再骨折リスクが高まると報告している。骨折のほとんどは転倒によって起きることから、骨折後の再転倒予防対策を講じることが再骨折予防のために推奨されている[9]。以上より、骨折後患者の転倒、再骨折頻度やその危険因子を明らかにすることは再骨折予防のみならず、その後の機能低下予測のためにも重要であると考えられる。

しかし、骨折後患者の転倒発生、危険因子に関する調査は少ない。Van Helden ら [10] は骨折後3か月間の転倒頻度は15%であることをさまざまな骨折部位の患者277名で明らかにした。さらにその危険因子としてADLスコアが低値であることを示した。Morrisら[11]は椎体圧迫骨折後患者において5mのTimed up and go test (TUG)の結果がその後の転倒を予測する指標であることを示し、Kristensenら [12]も同様に大腿骨近位部骨折後患者においてTUGが骨折後6か月間の転倒発生リスク予測に有用であることを報告している。さらに膝伸展筋力評価などもその有用な指標となるといった報告もある[13]。これらの報告は、骨折後患者における転倒リスク評価に運動機能検査が重要であることを示しているものの、再骨折は骨折後1年間で頻度が高いにも関わらず[14, 15]、骨折後のフォローアップ期間が短いことやTUG自体、感度、特異度が報告によって差があり、その客観性に問題があることなどが指摘される[16]。

近年、3軸加速度計を用いた歩行分析がさまざまな患者群で運動機能評価に用いられるようになった[17-19]。加速度計による運動評価は客観性や再現性が高いだけでなく、手軽に臨床現場で用いることが可能な評価機器である[20-22]。加速度計による歩行分析は歩行のばらつきや下肢筋力、バランス機能などを評価することが可能であることから[23]、特に転倒リスクをよく判別できるといった報告が多い[24-26]。さらに変形性股関節症患者や関節リウマチ患者など筋力、バランス能力の低い運動器疾患患者の運動機能をよく評価できたという報告[17, 19]もあることから、骨折後患者のような虚弱な運動器疾患患者群における運動機能や転倒リスクを判別するのにも有用な可能性がある。

一方、代表的な運動器疾患である変形性膝関節症 (Osteoarthritis of the knee: 膝 OA) は歩行能力の低下を招くことだけでなく、大腿骨骨折のリスクも上がることが報告されている[27]。膝

OAの増加にともない人工膝関節全置換術 (total knee arthroplasty: TKA) の件数も年々増加傾向にあるものの、TKA後にも転倒は発生しやすく[28, 29]、一般人口と比較して大腿骨近位部骨折の発生率も高いと報告されている[30]。よって、骨折後患者とともに転倒危険因子の調査並びに転倒、骨折予防対策の必要な患者群である。

本研究の目的は骨折後患者における転倒、再骨折、ADL低下、介護認定などの機能低下の予測指標となる危険因子について検討することである。初年度、次年度では横断的研究を行い、各運動検査及び3軸加速度計を用いて骨折後患者の身体能力を評価し、健常高齢者と比較してその特徴を明らかにした。さらに最終年度では縦断的研究にて骨折後患者の転倒頻度と機能低下危険因子の抽出を行った。さらに次年度にはTKA後患者の転倒発生と健常高齢者と比較した運動機能などを横断的に調査した。

B. 研究方法

1) 対象

初年度

県内5施設 (鳥取大学医学部附属病院、博愛病院、清水病院、野島病院、三朝温泉病院) (別紙1) に入院した骨折後患者と研究施設主催の健康教室に参加した健常高齢者を対象とした。

骨折後患者は、骨折前に自宅で生活しており、ADL、歩行ともに自立し、介護保険未使用であった32例 (年齢 78.9 ± 7.8 歳 (range61-96)、身長 148.3 ± 4.9 cm、体重 47.9 ± 8.3 kg、BMI 21.6 ± 3.3 kg/cm²) が調査に参加した。術前の歩行状態に問題の無かったものは78.1%であった。残りの18.8%は杖、シルバーカーを必要とした。合併症は高血圧46.9%、心不全3.1%、不整脈6.3%、糖尿病25.0%、呼吸器疾患3.1%、脳血管疾患18.8%、パーキンソン病6.3%、変形性関節症28.1%、関節リウマチ3.1%であった。

骨折の内訳は大腿骨近位部骨折11例、椎体圧迫骨折13例、上腕骨骨折2例、膝蓋骨骨折2例、恥

骨骨折2例、大腿骨外顆骨折1例、脛骨内果骨折1例であった。その内、手術療法は43.3%に行われた。大腿骨近位部骨折における術式はCHSが4例、γネイルタイプが3例、人工骨頭置換術が3例、人工股関節置換術が1例であった。

骨折の原因は転倒が93.1%、事故が3.1%、その他が3.1%であった。転倒の場所は自宅が48.1%、屋外が51.9%であった。転倒の方向は前方への転倒が25.0%、後方へ転倒が37.5%、側方への転倒が37.5%であった。骨折前に骨粗鬆症の診断を受けていたものは19.4%で、治療を行っていたものは16.7%であった。今回の骨折が初発のものは81.3%であった。長谷川式知能スケールで20点以下のものが3名いたが検査、調査の施行には問題ないレベルの認知機能であった。

健常高齢者は17名（年齢 76.7 ± 4.4 歳（range70-86）、身長 149.8 ± 5.5 kg、体重 51.4 ± 5.8 kg、BMI 22.9 ± 2.2 kg/cm²）が調査に参加した。合併症は高血圧47.1%、心不全11.8%、不整脈5.9%、糖尿病5.9%、呼吸器疾患11.8%、脳血管疾患11.8%、変形性関節症23.5%、関節リウマチ5.9%であった。

次年度

研究1

初年度に続いて県内5施設（鳥取大学医学部附属病院、博愛病院、清水病院、野島病院、三朝温泉病院）（別紙1）に入院した骨折患者を対象とした。

骨折後患者は初年度の32例からさらに60例増え、合計92例（年齢 80.1 ± 7.3 歳range60-96歳、男性7例、女性85例、身長 148 ± 6.9 cm、体重 47.8 ± 9.0 kg、BMI 21.5 ± 3.3 kg/cm²、骨折前Barthel index 99.0 ± 3.1 点）を解析対象とした。術前の歩行状態が独歩であったものは73.9%。残りは杖、シルバーカーを必要とした。介護保険未使用者が79.3%を占め、残りは要支援1が4.3%、要支援2が5.4%、要介護1が4.3%、要介護2が3.3%であった。合併症は高血圧43.5%、心不全4.3%、不整脈6.5%、糖尿病15.2%、呼吸器疾患5.4%、脳血

管疾患14.1%、パーキンソン病4.3%、変形性関節症22.8%、関節リウマチ2.2%であった。

骨折の内訳は大腿骨頸部骨折12例、大腿骨転子部骨折15例、椎体圧迫骨折37例、上腕骨骨折6例、前腕骨折2例であった。その他の骨折が20例あり、その内訳は腰椎横突起骨折1例、骨盤骨折1例、大腿骨外果骨折2例、足関節骨折1例、恥骨骨折6例、膝蓋骨骨折4例、肋骨骨折1例、脛骨骨折3例、踵骨折1例であった。手術療法は41.3%に行われた。大腿骨近位部骨折における術式はスクリューが3例、CHSが6例、γネイルタイプが7例、人工骨頭置換術が9例、人工股関節全置換術が1例であった。なお保存療法が1例あった。

骨折の原因は転倒が77.3%、事故が8%、その他が14.8%であった。転倒の場所は自宅が55.6%、屋外が44.4%であった。転倒の方向は前方への転倒が20%、後方へ転倒が44.8%、側方への転倒が34.3%であった。骨折前に骨粗鬆症の診断を受けていたものは26.7%で、薬物治療を行っていたものは17.6%であった。今回の骨折が初発のものは76.7%であった。長谷川式知能スケールで20点以下のものが5名いたが検査、調査の施行には問題ないレベルの認知機能であった。

健常高齢者は初年度の17名より6名増え、合計23名（年齢 78.3 ± 3.2 歳 range 74-86歳、身長 150.5 ± 4.9 cm、体重 50.8 ± 5.6 kg、BMI 22.5 ± 2.4 kg/cm²）を解析対象とした。合併症は高血圧60.9%、心不全8.7%、不整脈8.7%、糖尿病4.3%、呼吸器疾患4.3%、脳血管疾患4.3%、変形性関節症21.7%であった。

研究2

人工膝関節後高齢者と健常高齢者の転倒頻度と危険因子について比較した。

TKA後高齢者は研究施設でTKAを行い、手術名簿に記載された患者の中から、両側、もしくは片側のTKAを行った70歳以上の153名を研究対象とした（年齢 75.7 ± 2.5 歳、range70-79歳、男性10例、女性143例）であった。

健常高齢者はTKA後高齢者と年齢、性差をマッ

チングした健常高齢者をコントロール群とした。健常高齢者は地域で自立生活を送っており、A町の地域包括センターの行う健康教室に参加している介護保険未使用高齢者を対象とした（年齢75.9±3.1歳、range70-81歳、女性16例、男性73例）とした。

最終年度

初年度、次年度に引き続き、県内5施設（鳥取大学医学部附属病院、博愛病院、清水病院、野島病院、三朝温泉病院）（別紙1）に骨折治療のために入院した骨折患者を対象とした。

次年度より8名増加し100例（年齢80.4±7.3歳 range60-96歳、男性8例、女性92例、身長148.6±6.9cm、体重47.8±9.1kg、BMI21.5±3.3kg/m²、骨折前Barthel index98.9±3.2点）が再最終的にベースライン調査の対象となった。術前の歩行状態が独歩であったものは74.0%。残りは杖、シルバーカーを必要とした。介護保険非認定者が76.0%を占め、残りは要支援1が4.0%、要支援2が4.0%、要介護1が8.0%、要介護2が5.0%であった。合併症は高血圧45.0%、心不全5.0%、不整脈6.0%、糖尿病16.0%、呼吸器疾患5.0%、脳血管疾患15.0%、パーキンソン病4.0%、変形性関節症21.0%、関節リウマチ2.0%であった。

骨折の内訳は大腿骨頸部骨折15例、大腿骨転子部骨折15例、椎体圧迫骨折40例、上腕骨骨折7例、前腕骨骨折3例であった。その他の骨折が20例あり、その内訳は腰椎横突起骨折1例、骨盤骨折1例、大腿骨外果骨折2例、足関節骨折1例、恥骨骨折6例、膝蓋骨骨折4例、肋骨骨折1例、脛骨骨折3例、踵骨折1例であった。手術療法は41.3%に行われた。大腿骨近位部骨折における術式はスクリューが3例、CHSが7例、γネイルタイプが7例、人工骨頭置換術が12例、人工股関節全置換術が1例であった。

骨折の原因は転倒が78.1%、事故が7.3%、その他が14.6%であった。転倒の場所は自宅が55.7%、屋外が44.3%であった。転倒の方向は前方への転

倒が20%、後方へ転倒が42.5%、側方への転倒が37.0%であった。骨折前に骨粗鬆症の診断を受けていたものは25.5%で、薬物治療を行っていたものは18.3%であった。今回の骨折が初発のものは74.5%であった。長谷川式知能スケールで20点以下のものが5名いたが検査、調査の施行には問題ないレベルの認知機能であった。

2) 方法

初年度

骨折後患者（別紙2）と健常高齢者に対して（別紙3）アンケート調査を行った。

骨折後患者は退院時に、健常高齢者は健康教室時に各種運動検査および3軸加速度計を用いた歩行分析を行った。

①基礎項目

骨折群に対し、骨折前、退院時のBarthel index、骨粗鬆症の治療の有無、服薬数を本人から聴取し、骨折種類、術式等を診療録から抽出した。入院中に骨折前の生活の状況を基本チェックリスト、足腰25を用いて自己記入させた。

②医学的情報

骨折群に対し、骨量、BMD（大腿骨、脊椎）もしくは骨委縮度（Ⅰ～Ⅲ）、生化学データ（Alb、Hgb、ALP、Ca）の検査が行われているものは診療録より抽出した。

③身体機能

骨折群に対し、退院時に以下の項目を計測した。

i) ROM（大腿骨近位部骨折のみ）

骨折肢の屈曲、伸展、外転、内転等の他動可動域を、ゴニオメーターを用いて計測した。

ii) 円背指数

円背の度合いをMilneの方法[31]に準じ立位にて測定した。50cmの自在曲線定規を用い、第7頸椎から第4腰椎棘突起までの背部の彎曲をなぞり、その形状を紙上にトレースした。トレースした彎曲のC7からL4を結ぶ直線L（cm）、直線Lから彎曲の頂点までの距離をH（cm）としその割

合を円背指数とした (H/L×100)。

iii) 握力

自然立位にてアナログ握力計を利き手で保持し、下垂した上肢を体側から20度ほど離れた姿勢で行った。

iv) 膝伸展MMT

測定肢位はダニエルらの方法[32]に準じて行い、対象者は座位にて、検査者の徒手抵抗に対して膝伸展運動を行った。

v) 痛み

患部の痛み（安静時、運動時）をVisual analog scale(以下：VAS)にて採点した。

④運動機能

骨折群、健常群に対して以下の運動検査を行った。

i) Time up and go test :TUG[33]

45cmの高さの椅子から、検査者の合図とともに立ち上がり、3m前のポールまで歩き、折り返して再びいすに座る時間を計測した。

ii) 開眼片脚起立時間[34]

両手を腰に当てた状態で片脚立脚を行わせ挙上側の足部が支持側の下肢に触れないように注意した。挙上側の足部が離床した時点から、再び接床するまで時間をストップウォッチで測定した。左右計測し高値を代表値とした。

iii) 5回立ち上がり時間

肘掛けのない高さ40cmの昇降運動用踏台あるいは椅子にすわり、合図後、最大努力ですばやく両膝が完全に伸展するまで立ち上がり、座位姿勢にもどる5回の時間を測定した。

iv) 5m歩行時間

10mの平坦な歩行路を2mと7mの地点にラインを貼り、歩行開始後から2mのラインを越えて足部が接床した時点から7mのラインを越えて接床するまでの所要時間を計測した。

v) 3軸加速度計

歩行解析機器としてワイヤレス型3軸加速度計MVP-RF8（MicroStone株式会社製）を使用した。加速度センサーの大きさは45mm×45mm×

18.5mmで、加速度信号はサンプリング周波周期200Hzで記録装置に記録された。記録された加速度信号はBluetoothワイヤレステクノロジーにてパーソナルコンピュータに転送された。

加速度センサーはX軸、Y軸、Z軸を有し、それぞれが水平、垂直、前後成分の加速度を捉える。センサーはベルトにて固定し、身体重心に近い第3腰椎棘突起付近に装着した。被験者には前後2mずつ含む5mの直線歩行路を独歩にて自由歩行してもらい、中間5mの歩行中の加速度を計測した。

得られた3軸の加速度信号に対し、中3秒間のRoot Mean Square（以下RMS）を求めた（図1）。RMSは大きい値をとるほど重心の動揺が大きいことを示す[35]。さらに3軸の合計成分を以下の式で求めた[35]。

3軸合計RMS=(水平成分RMS+垂直RMS+前後成分RMS)/3

3軸加速計RMS数値は歩行速度に影響を受け、速度の2乗倍に比例するとされているため、初年度は歩行速度の2乗で補正を実施し、「動揺性」の指標とした。

次年度以降は補正を行わず、加速度の「大きさ」の指標とした。

次年度 研究1

初年度の検査項目に加え、3軸加速度計歩行分析の項目に変動係数(CV: Coefficient of variation)、自己相関分析(AC: Auto Correlation)を加えた(図2)。

CVは歩行中の一步に要する時間のばらつきの指標である。垂直軸の加速度波形を用いて、一步に要する時間をpeek値間の時間より抽出し、7~10歩分の平均時間およびその標準偏差を求めた。さらにその標準偏差を平均で除し、100を乗ることで算出した(図3)。CVが高いほど「ばらつき」の多い歩行となる。

ACは歩行の規則性の指標とした。解析にはSPSSを用いた。まず各対象者の一步行周期に要

する時間の平均値を算出し、その値をラグ値として使用した。5m歩行中の3軸の加速度波形に対して分析を行った。(図4)。ACが高いほど規則性の高い歩行、つまり一歩行周期ごとに加速度の変化は規則的に繰り返していることとなる。

研究2 歩行補助具の有用性に関する調査

調査方法は自己記入式アンケートによる後方視的調査とした。アンケートの返信をもって研究同意とする旨をアンケートに記載した。TKA群にはアンケート郵送法を用い、健常高齢者群は、参加した地域の健康教室の開催時に直接配布、回収を行った。

アンケート内容は基礎項目、歩行状態、日常生活動作、膝の状態、転倒の5項目からなり、それぞれの質問に対して「はい」「いいえ」、もしくは5段階の順序尺度で回答を行うものとした。

アンケート内容 (別紙4,5)

i) 基礎項目

年齢、性別、身長、体重、服薬数、睡眠薬の服用の有無、聴力、視力低下の有無、円背の有無、外反母趾の有無、心疾患、呼吸器疾患、糖尿病、高血圧などの既往歴の有無、自宅の手すりの設置の有無、自宅の段差の多さについても質問を行った。さらにTKA後高齢者は人工股関節の既往の有無についても質問した。

ii) 転倒

過去12か月において転倒や骨折の有無について質問した。質問内容は①転倒の有無②転倒回数③転倒による怪我の有無④転倒による骨折の有無⑤骨折があった場合の骨折部位の5項目とした。なお、転倒の定義は「歩いている時や何かをしているときに急につまずいたり、すべったりして、床、地面などに手がついてあり、尻もちをつくこと(ケガの有無とは関係ありません。また暴力などの外力によるもの、自転車などの乗り物での事故は除く)」とした。

iii) 歩行状態

歩行補助具の使用の有無とその種類および一日の歩行距離について5段階順序尺度で質問

した。

iv) 日常生活動作

日常生活場面における各動作が可能かどうか「はい」「いいえ」で質問した。質問内容は①立ったまま靴下をはけますか?②階段をあがったりおりたりされますか?③手の支えなしで椅子から立てますか?④歩く時や動作時に転倒に対する恐怖心がありますか?⑤定期的に体操や散歩などの運動をされますか?の6つの設問から構成した。

v) 膝の状態

膝のこわばりや痛みについて「はい」「いいえ」で質問した。質問内容は①いつも膝に痛みやこわばりがありますか?②歩くとき膝が痛みますか?③段差をのぼったり降りたりするとき膝が痛みますか?④いすやベッドから立ち上がるとき膝が痛みますか?⑤膝の痛みのために外出を制限することがありますか?⑥膝の痛みのために外出を制限することがありますか?⑦膝以外の関節で痛いところはありますか?の7つの質問から構成した。膝の曲がり具合の質問は図を用いて行った。さらに健常高齢者には膝痛による病院への通院有無、膝の内反変形の有無についても質問した。

最終年度

初年度から最終年度にかけてベースラインを行った対象者に対して骨折後から1年後に、フォローアップアンケートを対象者に郵送した。アンケートの内容は、1) 転倒の有無、2) 基本チェックリスト、3) 足腰25、4) Barthel Indexとした。転倒は骨折からこの1年間での転倒の有無、回数、転倒した時期、骨折の有無と骨折部位とした。

3) 倫理的配慮

倫理的配慮として対象者に対し、調査の目的と方法、調査の参加への自由、人権・プライバシーの保護について口頭、書面にて説明し、研究参加への同意を得た。

本研究は鳥取大学医学部倫理審査委員会

(No1264)、研究施設の倫理委員会、A町の承認を得て行った。

4) 統計学的分析

統計学的分析には統計ソフトPASW ver.18を用いた。すべて両側検定とし5%の危険率をもって有意とした。

初年度

骨折種類別の基礎項目、アンケート項目、身体機能、運動検査の群間比較に一元配置分散分析を行った。骨折群における3軸加速度数値とアンケート項目、身体機能、運動検査との相関分析にPearsonの相関分析を行った。骨折群と健常群の基礎項目、アンケート項目、身体機能、運動検査の比較に対応の無いT-testとカイ2乗検定を行った。

次年度

研究1では骨折後高齢者と健常高齢者の基礎項目、アンケート項目、身体機能、運動検査の比較にカイ2乗検定、一元配置分散分析を行った。一元配置分散分析の事後検定には、等分散性の検定において等分散が仮定された場合はTukey法を、等分散が仮定されなかったものに関してはGames-Howell法を用いた。すべて両側検定とし5%の危険率をもって有意とした。

研究2ではTKA後高齢者群と健常高齢者群および両群における非転倒群、転倒群の基礎項目、転倒数、歩行状態、日常生活動作、膝の状態、転倒の状況の比較において、T検定、カイ二乗検定を行った。なお、順序尺度の比較にはMann-Whitney U検定を行った。さらにそれぞれの群の転倒の危険因子を抽出するために、群間差において5%未満の有意差があった変数を独立変数とし多重ロジスティック回帰分析を行った。

最終年度

ベースライン時と1年後の変数比較に対応のあるT検定を、転倒群、非転倒群など群間の比較に

カイ2乗検定、対応の無いT検定を行った。骨折後1年間での1) 転倒、2) 再骨折、3) ADL悪化、4) 介護保険認定の4つのエンドポイントの危険因子を抽出するために、各群間比較にて有意差のあった変数を独立変数、エンドポイント発生の有無を従属変数とした多重ロジスティック回帰分析を行った。

倫理的配慮

倫理的配慮として対象者に対し、調査の目的と方法、調査の参加への自由、人権・プライバシーの保護について口頭、書面にて説明し、研究参加への同意を得た。本研究は鳥取大学医学部倫理審査委員会の承認を得て行った (No1775)。

C. 研究結果

初年度

1) 骨折群の骨折前のADL状況

表1に骨折群の骨折前のADL状況を示す。Barthel Indexは99.2点と自立レベルであった。

2) 骨折群の入院状況と退院先

骨折患者の入院日数は 67.1 ± 28.3 日 (range15-123日) で、入院中のリハビリテーションの状況は8例が急性期病棟のリハビリテーションのみで退院し、24例は急性期から回復期病棟を介して退院した。自宅退院が96.9%で1例が施設への退院となった。退院時の歩行状態に問題の無かったものは骨折前78.1%から46.9%と低下し、約30%の症例に屋外歩行に歩行補助具が必要となった。退院時のBarthel Indexは 96.5 ± 6.8 点であり、入院前と比べ3点低下した。

3) 骨折群の退院時の身体機能、運動検査

表2に骨折群の退院時の身体検査、運動検査の結果を示す。

4) 骨折種類別の群間比較

骨折を上肢群、下肢群、体幹・骨盤帯群に分類し、群間を比較した。表3に骨折群別の基礎項目比較を示す。不整脈の割合が上肢群に多かった ($p=0.023$) もの、その他すべての項目に群

間差は無かった。表4にアンケート項目と身体機能、運動検査の比較を示す。すべての項目に群間差は無かった。

5) 3軸加速度計数値とアンケート項目、運動検査との相関

表5、表6、表7、表8に3軸加速度計数値と基本チェックリスト、足腰25、各運動検査との相関関係を示す。水平成分と基本チェックリスト(暮らし1) ($r=0.534$)、基本チェックリスト(暮らし2) ($r=0.358$) に有意な正の相関関係があり、暮らしぶりがよくないほど加速度計数値は高かった ($p=0.002$ 、 $p=0.044$) (図5、6)。さらに水平成分とTUG ($r=0.721$)、開眼片脚起立時間 (-0.370)、5m歩行時間 ($r=0.920$) とも有意な相関関係があった ($p<0.001$ 、 $p=0.037$ 、 $p<0.001$) (図7~9)。

垂直成分とTUG ($r=0.436$)、5m歩行時間 ($r=0.920$) に有意な正の相関関係があった ($p=0.013$ 、 $p<0.001$) (図10、11)。

前後成分と足腰25($r=0.359$)、TUG($r=0.551$)、5回立ち上がり時間 ($r=0.425$)、5m歩行時間 ($r=0.805$) に有意な相関関係があった ($p=0.043$ 、 $p<0.001$ 、 $p=0.015$ 、 $p<0.001$) (図12~15)。

合計成分と基本チェックリスト(暮らし1) ($r=0.352$) に有意な正の相関関係があり、暮らしぶりがよくないほど加速度計数値は高かった ($p=0.048$)。さらにTUG ($r=0.603$)、5m歩行時間 ($r=0.907$) とも有意な相関関係があった ($p<0.001$ 、 $p<0.001$) (図16~18)。

6) 健常高齢者と骨折後高齢者のアンケート項目、運動検査の比較

表9に健常高齢者と比較した骨折後高齢者の基礎項目を示す。基本チェックリスト(暮らし1)が健常群0.1に対し、骨折群1.0と有意に高値であり、骨折群は骨折前より健常群比べ暮らしぶりが悪かった。それ以外の項目に群間差は無かった。

表10に健常高齢者と比較した骨折後高齢者の運動項目を示す。骨折群はTUGにおいて健常群10.2秒に対し、13.9秒と有意に時間を要した ($p=0.020$)。5m歩行時間も健常群4.6秒に対し骨折

群7.3秒と有意に時間を要した ($p=0.002$)。3軸加速度計数値はすべての成分に有意差があり、健常群が水平成分0.76、垂直成分1.24、前後成分1.13、合計成分1.04であるのに対し、骨折群はそれぞれ2.07、2.42、3.21、2.56と高値であり、歩行中の動揺が大きかった ($p=0.005$ 、 $p=0.018$ 、 $p=0.003$ 、 $p=0.004$)。

7) 3軸加速度計数値による骨折群、健常群分別のcut off値 (図19~22)

cut off値のROC曲線にて得られた骨折群と健常群を分別するcut off値は水平成分0.976 (AUC84.5%、感度73.3%、特異度5.9%)、垂直成分1.218 (AUC75.4%、感度73.3%、特異度35.3%)、前後成分1.144 (AUC84.7%、感度86.7%、特異度23.5%)、合計成分1.435 (AUC82.0%、感度66.7%、特異度5.9%) であった。

次年度

研究1

1) 健常高齢者群と骨折後患者群の基礎項目の比較

骨折後患者群を骨折部位によって上肢骨折8例、体幹骨折45例、下肢骨折39例に分けし、健常高齢者23名と比較した。

表11に健常高齢者群と骨折後高齢者群の基礎項目の比較を示す。糖尿病の罹患率に有意な差があり、下肢骨折群は罹患率が25.6%と他の群と比較し有意に高値であった。その他の項目に群間差はなかった。

2) 健常高齢者群と骨折後高齢者群のアンケート項目の比較

表12に健常高齢者群と上肢骨折群、体幹骨折群、下肢骨折群間の基本チェックリスト各項目、足腰25の比較を示す。基本チェックリストでは「暮らしぶり1」において、健常高齢者群よりも体幹骨折群の点数が有意に不良であった。その他の項目や足腰25には群間差は無かった。

3) 健常高齢者群と骨折後高齢者群の運動機能検査の比較

表13に健常高齢者群と上肢骨折群、体幹骨折群、下肢骨折群における運動機能検査の比較を示す。すべての運動検査に有意な群間差があった。

TUGでは健常高齢者群9.7秒に対し、体幹骨折群14.5秒、下肢骨折群13.6秒と健常高齢者群と骨折群の間にそれぞれ有意な差があった。健常高齢者群と上肢骨折群間および骨折群間には差は無かった。

開眼片脚立脚時間では健常高齢者群10.6秒に対し、下肢骨折群は5.1秒と片脚立ち時間が有意に短かった。健常高齢者群と他の骨折群間および骨折群間に差は無かった。

5回立ち上がり時間では健常高齢者10.9秒に対し、下肢骨折群は13.4秒と5回立ち上がりに時間を要した。さらに下肢骨折群と比べ、体幹骨折群は16.9秒とさらに有意に時間を要した。

5m歩行時間では健常高齢者群4.3秒に対し、体幹骨折群7.4秒、下肢骨折群は7.1秒と骨折群は健常高齢者よりも5m歩行に時間を要した。健常高齢者群と上肢骨折群間および骨折群間には差は無かった。

4) 健常高齢者群と骨折後高齢者群の3軸加速度計による歩行解析の比較

表14に健常高齢者群と骨折群における3軸加速度計歩行解析の比較を示す。

RMSでは水平軸において、健常群1.03に対し、体幹群0.80と有意な差があった。垂直軸では健常高齢者群1.88に対し、上肢骨折群1.13、体幹骨折群1.12、下肢骨折群1.17とそれぞれ健常高齢者群と比較し骨折群は有意に低値であった。合計成分では健常高齢者群1.51に対し上肢骨折群1.04、体幹骨折群1.12と骨折群においてそれぞれ有意に低値であった。前後軸には群間に有意な差がなかった。

CVでは健常高齢者4.6に対し、下肢骨折群7.5と有意に下肢骨折群はCVが高値であった。さらに上肢骨折群と下肢骨折群間にも有意な差があり、下肢骨折群は有意に高値を示した。

ACは垂直軸において健常高齢者群0.645に対

し、体幹骨折群0.518、下肢骨折群0.462と健常高齢者と比較し、骨折群がそれぞれ有意に低値であった。さらに上肢骨折群と下肢骨折群間にも有意な差があり、下肢骨折群は有意に低値であった。前後成分では健常高齢者0.579に対し下肢骨折群0.429と下肢骨折群が有意に低値であった。さらに上肢骨折群と下肢骨折群間にも有意な差があり、下肢骨折群は有意に低値であった。

5) 骨折前の足腰25と退院時の運動検査および3軸加速度計分析との相関

骨折前の足腰25の得点と退院時の運動検査および3軸加速度計分析との相関関係を図23～26に示す。足腰25とすべての運動検査との間に有意な相関関係があった。相関係数はそれぞれTUG $r=0.535$ 、開眼片脚立脚時間 $r=-0.314$ 、5回立ち上がり時間 $r=0.405$ 、5m歩行時間 $r=0.521$ であった ($p<0.001$ 、 $p=0.002$ 、 $p<0.001$ 、 $p<0.001$)。

骨折前の足腰25の得点と3軸加速度計による歩行解析結果と相関関係を図27～30に示す。骨折前の足腰25とRMS垂直成分、CV、AC垂直成分、AC前後成分との間に有意な相関関係があった。相関係数はそれぞれRMS垂直成分 $r=-0.415$ 、CV $r=0.296$ 、AC垂直成分 $r=-0.256$ 、AC前後成分 $r=-0.281$ であった ($p<0.001$ 、 $p=0.004$ 、 $p=0.014$ 、 $p=0.007$)。

6) 3軸加速度計歩行解析の結果と運動検査との相関

3軸加速度計の運動機能検査としての妥当性を検証するために、その他の運動検査との相関関係について分析した。図31～49に相関関係を示す。RMS水平軸とTUG、5m歩行時間に有意な相関があり、相関係数はそれぞれTUG $r=-0.343$ 、5m歩行時間 $r=-0.405$ であった ($p=0.001$ 、 $p<0.001$)。

RMS垂直軸とすべての運動検査に有意な相関関係があった。相関係数はそれぞれTUG $r=0.630$ 、開眼片脚立脚時間 $r=0.334$ 、5回立ち上がり時間 $r=-0.390$ 、5m歩行時間 $r=-0.588$ であった ($p<0.001$ 、 $p=0.001$ 、 $p<0.001$ 、 $p<0.001$)。RMS 前後成分とTUG、5m歩行時間に有意な相関関係が