

## 内側型変形性膝関節症におけるlateral thrust, 膝内反モーメントおよび下肢筋力とX線進行度との関連性

松尾 智史<sup>※1</sup> 大森 豪<sup>※2</sup> 西野 勝敏<sup>※3</sup> 田邊 裕治<sup>※4</sup>  
小林 弘樹<sup>※4</sup> 解 晨<sup>※5</sup> 古賀 良生<sup>※6</sup>

Relationship between lateral thrust, knee adduction moment, muscle strength of the lower extremity and radiographic grade in medial knee osteoarthritis.

Satoshi MATSUO, Go OMORI, MD., Katsutoshi NISHINO, PhD., Yuji TANABE, PhD.,  
Hiroki KOBAYASHI, Shin KAI, PhD., Yoshio KOGA, MD.

### Abstract

Several mechanical factors contribute to medial knee osteoarthritis (OA), these include body weight, knee alignment, knee adduction moment, joint stability, and lateral thrust. This study biomechanically evaluated the relationship among lateral thrust, knee adduction moment, muscle strength of the lower extremity and radiographic OA grade. Thirty-five subjects (male : 15, female : 20, mean age : 63) were investigated in this study. Medial knee OA was radiographically evaluated using Kellgren-Lawrence classification. Five in grade-0, 5 in grade-I, 8 in grade-II, 10 in grade-III, and 7 in grade-IV, respectively. Three-dimensional lower extremity alignment assessment system and motion capture system were used for gait analysis, and the muscle strength of the lower extremity was measured with BIODEX. Lateral thrust was significantly increased with the knee OA grade. Knee adduction moment also tended to increase with the knee OA grade. On the other hand, the strength of the quadriceps and hamstrings significantly decreased with the knee OA grade. The results of this study suggest that lateral thrust and knee adduction moment have a positive correlation with the knee OA, and muscle strength of the lower extremity has a negative correlation with the knee OA ; therefore, the interrelation among the above mechanical factors should be biomechanically evaluated as the next step.

Key words : medial knee osteoarthritis, lateral thrust, knee adduction moment, muscle strength.

---

※ 1 新潟大学大学院 自然科学研究科

〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地

※ 2 新潟大学研究推進機構超域学術院

〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地

- ※ 3 新潟県健康づくり・スポーツ医科学センター  
〒950-0933 新潟県新潟市中央区清五郎67番地12 東北電力ビッグスワン内
- ※ 4 新潟大学 工学部  
〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地
- ※ 5 新潟大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー  
〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地
- ※ 6 新潟医療センター  
〒950-2022 新潟県新潟市西区小針3丁目27番地11号

Corresponding Author : Go OMORI, MD.

Center for Transdisciplinary Research, Institute for research promotion Niigata University  
2-8050, Ikarashi, Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan  
Tel : 025-262-7664 Fax : 025-227-2272  
E-mail address : gosuke@med.niigata-u.ac.jp

## はじめに

内側型変形性膝関節症（以下、内側膝OA）の発症・進行には多数の因子が関与しているが、その中でもいわゆる機械的因子の影響は大きくこれまでの種々の研究から肥満、膝内反アライメント、関節不安定性、歩行時のlateral thrust, 内反モーメント、膝関節周囲筋力（大腿四頭筋力、ハムストリング筋力）などが挙げられている<sup>4), 11), 12), 14), 17)</sup>。本研究では、これらの機械的因子のうち歩行動作に直接関連するlateral thrust, 内反モーメント、膝関節周囲筋力と内側型膝OA進行度との関連性について生体力学的に検討した。

## 対象と方法

### 1. 対象および膝OA進行度の評価

健常者および内側型膝OA患者35名35膝（男性15名、女性20名、平均年齢 $62.5 \pm 15.6$ 歳）を対象とした。内側型膝OAの進行度は立位膝X線からKellgren-Lawrenceによる評価法（以下K-L法）を用いて5段階に分類した<sup>8)</sup>。K-L法によるgrade評価では、grade-0が5名、grade-Iが5名、grade-IIが8名、grade-IIIが10名、grade-IVが

7名であった。

なお、本研究は新潟大学医学部倫理委員会の承認を取得し、対象者には事前に十分な説明を行い、研究への同意を得て測定を実施した。

### 2. 下肢アライメント, 歩行動作, 下肢筋力の測定

被験者の全身に直径15mmの反射マーカを34個貼付した。マーカの貼付位置はAndriacchiが報告しているpoint cluster法<sup>2)</sup>を参考にし、左右肩峰、上前腸骨棘、上後腸骨棘、踵、第二中足骨頭、非測定側の大腿骨内外側上顆にそれぞれ1個ずつ計12個、さらに測定側の下肢には直径1mmの鋼球を埋め込んだマーカを大腿部に12個、下腿部に10個貼付した。

次に、3次元下肢アライメント評価システム（Knee CAS, LEXI社）を用いて下肢の静的アライメントを次のように算出した。まず被験者の下肢全長CT画像から3次元骨モデルの作成、および骨座標系の構築を行った。また、被験者の下肢にマーカを貼付した状態で2方向CR画像（以下、CR画像）を取得し、そのCR画像に3次元骨モデルをイメージマッチングすることで、立位における静的な3次元下肢アライメントを算出した<sup>15), 16)</sup>。

歩行動作の測定には、10mの歩行路に赤外線カメラ6台とフォースプレート6枚を配置したモーション・キャプチャー・システム (Vicon 612, Vicon motion systems, Oxford, UK) を用い、歩行開始から3歩目以降の動作をサンプリング周波数120Hzで測定した。

下肢筋力の測定には筋力測定機器 (BIODEX, Biodex Medical Systems, NY, USA) を用い、角速度60deg/secの条件下における膝伸展・屈曲運動時のピークトルク値を測定した。

### 3. 歩行データの解析 (膝関節運動, thrustの定量化, 内反モーメントの算出, 評価項目)

歩行時における大腿骨と脛骨の相対運動を、3次元下肢アライメント評価システムとモーション・キャプチャー・システムを用いて次のように推定した。静的な下肢アライメントの測定で用いたCR画像上の大腿部、下腿部に貼付されたマーカをデジタイズし、立位における骨座標系に対するマーカ群の3次元的位置を取得した。この3次元的位置と、モーション・キャプチャー・システムを用いて取得した歩行時におけるマーカ群の3次元的位置を、最小二乗推定法を用いて対応させることで大腿・脛骨座標系間の相対運動を求めた<sup>9)</sup>。さらにGroodらの方法<sup>5)</sup>に準じて算出した6自由度パラメータ (屈曲・伸展, 内反・外反, 内旋・外旋, 内外側移動, 前後方移動, 遠近位移動) で相対運動を表示した。Lateral thrustは、先行研究と同様に立脚歩行初期における3次元下肢荷重線 (3次元下肢モデル内での大腿骨頭中心と足関節中心を結んだ直線) の脛骨近位関節面通過点の側方移動量で定量評価した<sup>10)</sup>。内反モーメントは、下肢を剛体リンクモデルと仮定して運動方程式を算出し、前述の6自由度パラメータのうちの関節角度と、フォースプレートから得られた床反力の情報および各セグメントの物理量 (質量, 慣性モーメント) を基に算出した<sup>1), 13)</sup>。さらに、歩行周期における膝内反モーメントの変化量を身長と体重で除して標準化した値を内反モーメント増加量とした。

以上のデータから、①lateral thrust量、②内反モーメント増加量、③大腿四頭筋力、④ハム

ストリング筋力について各々膝OA-grade別に検討した。

また、統計解析には1元配置分散分析法 (ANOVA) を用い、5%未満を有意水準とした。

## 結 果

3次元荷重線関節面通過点の側方移動量で示したLateral thrust量は、膝OA-gradeの進行とともに有意に増加していた (図1)。これに対し、内反モーメント増加量と膝OA-gradeの関連性は、grade-0からgrade-Iでやや低下しその後OA-gradeの進行とともに増加する傾向を示したが有意ではなかった (図2)。一方、膝関節伸展筋である大腿四頭筋力は膝OA-gradeの進行に伴って低下し、grade-0とgrade-II, III, IVとの間に有意差を認めた (図3)。さらに、膝関節屈筋であるハムストリング筋力も膝OA-

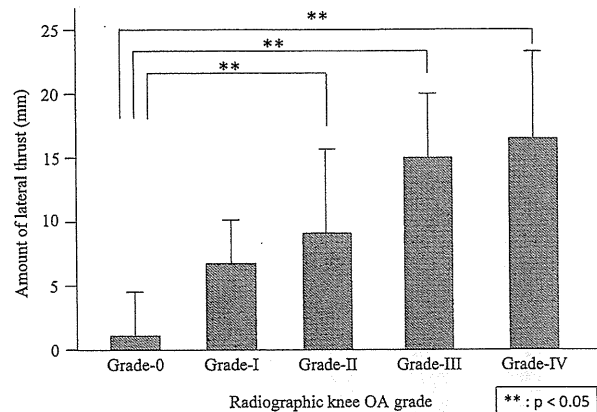


図1. Relationship between knee OA-grade and amount of lateral thrust.

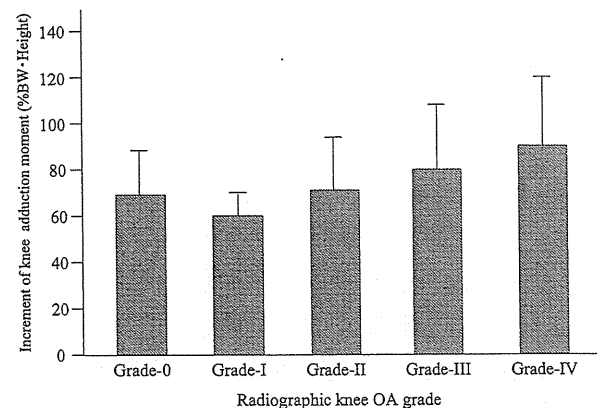


図2. Relationship between knee OA-grade and increment of knee adduction moment.

gradeに伴って低下していたが、その変化は grade-I, IIの初期～軽度の病期では有意ではなく、膝OAの進行期を示すgrade-III, IVで有意となっていた(図4)。

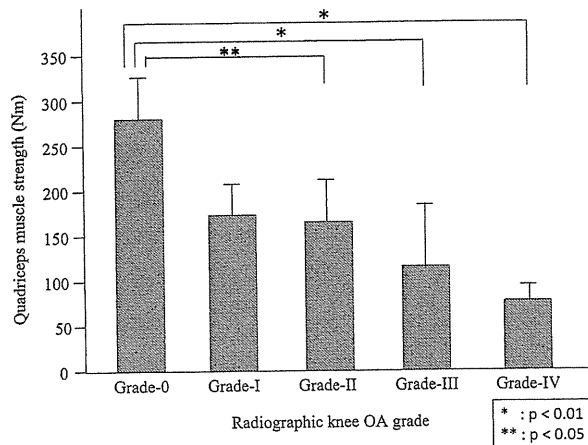


図3. Relationship between knee OA-grade and quadriceps muscle strength.

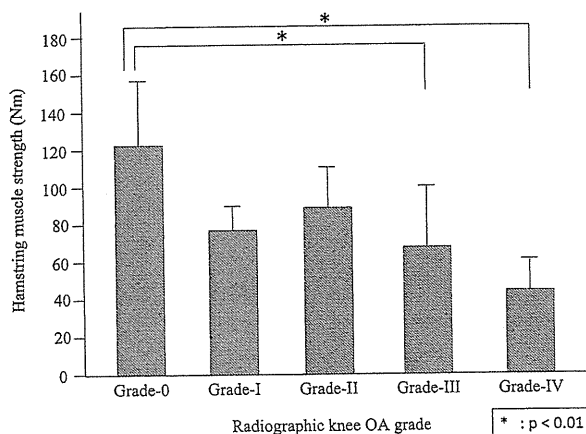


図4. Relationship between knee OA-grade and hamstring muscle strength.

## 考 察

内側型膝OAの発症と進行に影響する機械的因子の中で、近年歩行時のlateral thrustや内反モーメントが注目されその報告が散見される。大森らは住民膝検診による疫学調査からK-L分類による膝OA-gradeが進行するにつれて視診による歩行時のlateral thrustの出現率が有意に増加することを示している<sup>12)</sup>。Mundermannらは歩行解析から膝OA-gradeの進行に伴う膝内

反モーメントの変化について検討し、進行期膝OAであるgrade-III, IVでは初期～軽度膝OAであるgrade-0, I, IIに比べて内反モーメントのピーク値が大きいことを示している<sup>11)</sup>。また、Chanらは、lateral thrustの有無と膝内反モーメントの大きさの関連を検討し、lateral thrustが認められる群で膝内反モーメントのピーク値が有意に大きいと報告している<sup>3)</sup>。さらに、Huntらは、lateral thrustの運動学および動力学的な特徴を検討しており、膝内反モーメントのピークはlateral thrustと同時期に発生すると報告している<sup>7)</sup>。本研究では、lateral thrustと膝OAの間に有意な関連性が見られ、疫学調査で得られた結果を力学的に裏つけたものと考えているが、内反モーメントに関しては有意な関連性を見出すことができなかった。この原因は各OA-gradeの症例数が十分で無かったことと個々の測定値のばらつきが大きかったためと考えられ、今後、症例数を増やして検討する必要がある。また、lateral thrustと内反モーメントの関連性については、既述の報告のように両者の関連性を示すものがある一方で、最近、Walterらは1例のみの解析ではあるが歩行中の膝内反モーメントと膝内側に作用する関節間力(垂直荷重のみ)の関連性を評価し、その結果、膝内反モーメントの変化は関節間力の変化に影響しないことを報告しており、一定の見解が得られていない<sup>18)</sup>。我々は、lateral thrustと膝内反モーメントは密接な関係があると考えており、この点についても今後解析を進める必要がある。

下肢筋力の膝OAへの影響については、大腿四頭筋力との関連性を示す報告が多く、我々の疫学調査でも同様の結果が得られている<sup>12), 17)</sup>。また、近年、膝屈筋とのバランスが膝OAに影響するという報告も見られる<sup>6)</sup>。本研究でも大腿四頭筋およびハムストリング筋の両方で膝OA-gradeとの有意な関連性が認められた。さらに、我々は疫学調査から大腿四頭筋力とlateral thrustとの関連性を見出しており、今後、本研究手法からも両者の関連性について検討を行う必要がある。

## 結 論

内側型膝OAのX線上の進行度と歩行時のlateral thrustと膝内反モーメント, および下肢筋力の関係を検討した. その結果, スラスト量は膝OA進行に伴って増加し, 膝伸展・屈曲筋力はともに膝OA-gradeの進行に伴って減少していた.

## 文 献

- 1) 阿江通良, 湯海鵬 他: 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニクス 11: 23-33, 1992.
- 2) Andriacchi T. P, Alexander E. J et al.: A point cluster methods for in vivo motion analysis: applied to a study of knee kinematics. J Biomech Eng 120: 743-749, 1998.
- 3) Chan A, Hayes K et al.: Thrust during ambulation and the progression of knee osteoarthritis. Rheum 50: 3897-3903, 2004.
- 4) Felson DT, Zhang Y et al.: The incidence and natural history of knee osteoarthritis in the elderly. Arthritis Rheum 38: 1500-1505, 1995.
- 5) Grood E. S, Suntay W. J.: A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. J Biomech Eng 105: 136-144, 1983.
- 6) Hortobagyi T, Westerkamp L et al.: Altered hamstring-quadiceps muscle balance in patients with knee osteoarthritis. Clin. Biomech 20: 97-104, 2005.
- 7) Hunt MA, Schache A et al.: Varus thrust in medial knee osteoarthritis: quantification and effects of different gait-related interventions using a single case study. Arthritis Care Res 63: 293-297, 2011.
- 8) Kellgren J. H, Lawrence J. S.: Radiological assessment of osteoarthrosis. Ann Rheum Dis 16: 494-502, 1957.
- 9) 木村太郎, 西野勝敏 他: モーション・キャプチャー・システムを用いた大腿脛骨関節の3次元運動推定法の開発—3次元下肢アライメント評価システムの3次元運動解析への応用—. 臨床バイオメカニクス 30: 487-492, 2009.
- 10) 木村太郎, 西野勝敏 他: 内側型変形性膝関節症における歩行時スラスト現象と3次元下肢荷重線の関連性. 臨床バイオメカニクス 31: 401-407, 2010.
- 11) Mundermann A, Dyrby CO et al.: Potential strategies to reduce medial compartmental loading in patients with knee osteoarthritis of varying severity: reduced walking speed. Arthritis Rheum 50: 1172-1178, 2004.
- 12) 大森豪, 古賀良生 他: 疫学調査から見た内側型変形性膝関節症の発症要因. 日整会誌 80: 927-932, 2006.
- 13) Robertson DGE, Caldwell GE et al.: 力とその測定 In: 阿江通良 (監訳), 身体運動のバイオメカニクス研究法, 東京都, 大修館書店, 83-115, 2008.
- 14) Sharma L, Song J et al.: The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. JAMA 286: 188-195, 2001.
- 15) Sato T, Koga Y et al.: Three-dimensional lower extremity alignment assessment system. Application to evaluation of component position after total knee arthroplasty. J Arthroplasty 19: 620-628, 2004.
- 16) Sato T, Koga Y et al.: Quantitative 3-dimensional analysis of preoperative and postoperative joint lines joint in total knee arthroplasty: a new concept for evaluation of component alignment. J Arthroplasty 22: 560-568, 2007.
- 17) Slemenda C, Helman DK et al.: Reduced quadriceps strength relative to body weight. A risk factor for knee osteoarthritis in women? Arthritis Rheum 41: 1951-1959, 1998.
- 18) Walter J, D'Lima D et al.: Decreased Knee Adduction Moment Does Not Guarantee Decreased Medial Contact Force during Gait. J Orthop Res: 1348-1354, 2010.

屈曲動作を制御するためには、この力学系を詳細に解析して理解することが重要である。なお、回旋動作や最大屈曲角度には、筋力の大きさ以外にも、大腿四頭筋やハムストリングスに加えた筋力の方向が影響することが考えられるため、今後筋力の方向の影響について検討を進める必要がある。

今回の基礎モデルにおいて、筋力として大腿四頭筋とハムストリングスを考慮することで、屈曲動作に伴う自然な内旋動作を再現することができた。このことは、本解析モデルの有効性を示す重要な結果の一つであると言える。今後、異なる数種類の人工関節を用いて解析を行い、UHMWPEインサートに生じる応力状態を比較検討する予定である。

## 結 言

CT画像とMRI画像からそれぞれ骨と軟組織を数値モデル化し組み合わせることで構築した膝関節モデルと現行PS型人工膝関節モデル、および屈曲動作を再現する機械構造体モデルを組み合わせることでバーチャル膝関節シミュレータを作成した。得られた結果は以下の通りである。

- (1)筋力として大腿四頭筋のみを考慮すると外旋動作が生じるが、ハムストリングスを考慮することで、内旋動作が再現できることがわかった。
- (2)ハムストリングス筋力を調整することで、内旋動作を制御することが可能であることが示された。筋力を低下させると内旋角度も減少する傾向にあることがわかった。
- (3)UHMWPEインサートの相当応力分布状態は内旋動作の影響を受けて変化しており、このことは、本シミュレータモデルが、様々な屈曲動作における人工膝関節の応力解析に有用であることを示唆している。

## 文 献

- 1) Beillas P, Papaioannou G et al. : A new method to investigate in vivo knee behavior using a finite element model of the limb. *J Biomechanics* 37 : 1019-1030, 2004.
- 2) Halloran JP, Anthony JP et al. : Explicit finite element modeling of total knee replacement mechanics. *J Biomech* 38 : 323-331, 2005.
- 3) Haut TL, Haut RC : The state of tissue hydration determines the strain-rate-sensitive stiffness of human patellar tendon. *J Biomechanics* 30 : 79-81, 1997.
- 4) 小林公一, 柿木俊彦 他 : 超高分子量ポリエチレンの衝撃圧縮特性, *実験力学*, 3 (4) : 225-229, 2003.
- 5) Lo JH, Muller O et al. : Forces in anterior cruciate ligament during simulated weight-bearing flexion with anterior and internal rotational tibial load. *J Biomechanics* 41 : 1855-1861, 2008.
- 6) Tanabe Y, Sakamoto M et al. : Impact response Analysis of Patella-Patellar Tendon-Tibial Tuberosity Complex. *Proc. APCFS & ATEM* 01: 493-498, 2001.
- 7) 東藤貢, 長嶺隆二 他 : 医療用画像に基づく3次元膝関節モデルの構築と人工膝関節の応力解析への応用, *臨床バイオメカニクス* 30 : 339-346, 2008.
- 8) 東藤貢, 大野充孝 他 : バーチャル・シミュレータによる人工膝関節の応力解析, *臨床バイオメカニクス* 31 : 231-236, 2010.
- 9) Todo M, Takahashi Y et al. : Stress analysis of artificial knee joints under flexion and rotation, *Tribology Online*, 3 (3) : 211-215, 2008.
- 10) Zavatsky AB : A kinematic-freedom analysis of a flexed-knee-stance testing rig. *J Biomechanics* 30 : 277-280, 1997.

## イメージマッチングによる膝関節接触状態評価法の実験的検証

豊田 貴嗣<sup>\*1</sup> 小林 公一<sup>\*2</sup> 坂本 信<sup>\*2</sup> 大森 豪<sup>\*3</sup>  
古賀 良生<sup>\*4</sup> 田邊 裕治<sup>\*5</sup>

Experimental validation of femorotibial contact behavior assessed  
by the image matching method.

Takatsugu TOYODA, Koichi KOBAYASHI, PhD., Makoto SAKAMOTO, PhD.,  
Go OMORI, MD., Yoshio KOGA, MD., Yuji TANABE, PhD.

### Abstract

This study validated cartilage contact behavior in the femorotibial joint evaluated through an image registration technique by comparing measured values with those obtained from tactile pressure sensors. A human cadaveric right knee without history of knee joint disease was used for this study of the knee was performed CT scanning to create 3D femoral and tibial bone models and MR imaging to create 3D femoral and tibial cartilage layer models. The cartilage layer models were manually matched to the outer surface of the corresponding bone models with accuracies of 0.5 mm and 0.7°. Tactile pressure sensors were inserted into the medial and lateral compartments of the knee. Then axial loads of 14.7 N, 147.0 N and 205.8 N were applied by a lever arm loading apparatus in knee extension (tibial and femoral bone axes were perpendicular, and the joint level was parallel to the floor). Calibrated biplane radiographic images of the knee were obtained at each step of loading. The 3D positions of the femur and tibia were reproduced by the image-matching method. The occluded area between the femoral and tibial cartilage models was defined as the contact area. The contact area and contact pressure obtained by the image matching method were comparable with those measured using pressure sensors.

Key words : Femorotibial joint, Articular contact, Cadaveric measurement, Image matching.

- 
- ※ 1 新潟大学大学院 自然科学研究科  
〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地
- ※ 2 新潟大学 医学部保健学科  
〒951-8518 新潟県新潟市中央区旭町通2-746



※ 3 新潟大学超域研究機構

〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地

※ 4 新潟医療センター 整形外科

〒950-2022 新潟県新潟市西区小針3-27-11

※ 5 新潟大学工学部附属工学力教育センター

〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地

Corresponding Author : Yuji TANABE, PhD.

Education Center for Engineering and Technology, Niigata University

Ikarashi Ni-nocho, Niigata 950-2181, Japan

Tel & Fax : 025-262-6806

E-mail address : y.tanabe@eng.niigata-u.ac.jp

## はじめに

近年、膝関節の2D-3Dイメージマッチングによる運動解析が行われている。その多くがX線CTまたはMRIから構築した3次元骨形状モデルを用いた大腿骨、脛骨および膝蓋骨の相対位置変化の検討<sup>3),5)</sup>であるが、さらにMRIによる関節軟骨形状も加えることで運動に伴う軟骨の接触状態を解析した研究<sup>1)</sup>も行われている。イメージマッチングにより骨同士の相対運動解析を行うだけでなく、軟骨の接触挙動を生体内で定量評価することは、膝不安定性に伴う軟骨変性や変形性膝関節症における病態進行の分析を可能とする。これら骨同士の相対運動解析や軟骨の接触挙動の検討を行うにあたってはまずイメージマッチング法による軟骨接触評価法の妥当性について実験的に検証しておく必要がある。そこで本研究ではヒト切断肢を対象に、CT像から構築した骨モデルとX線画像との2D-3Dイメージマッチング結果に、MRIから構築した軟骨モデルを付加することで軟骨接触領域を求めた。そして、圧力センサーを用いて直接測定した接触領域とモデルから計算した接触領域とを比較し、モデル計算により得た接触領域の妥当性について検討した。

## 実験方法

### 1. 骨・軟骨モデル作成

膝関節疾患履歴のない成人女性ヒト右切断肢の膝関節を対象として、CT撮影とMRI撮影を行った。そして3次元再構成ソフトウェア(Zed View DB 4.0, LEXI, JAPAN)を用い、CT画像からは遠位大腿骨と近位脛骨の3次元骨形状モデルを、MRI画像からは大腿骨と脛骨の3次元

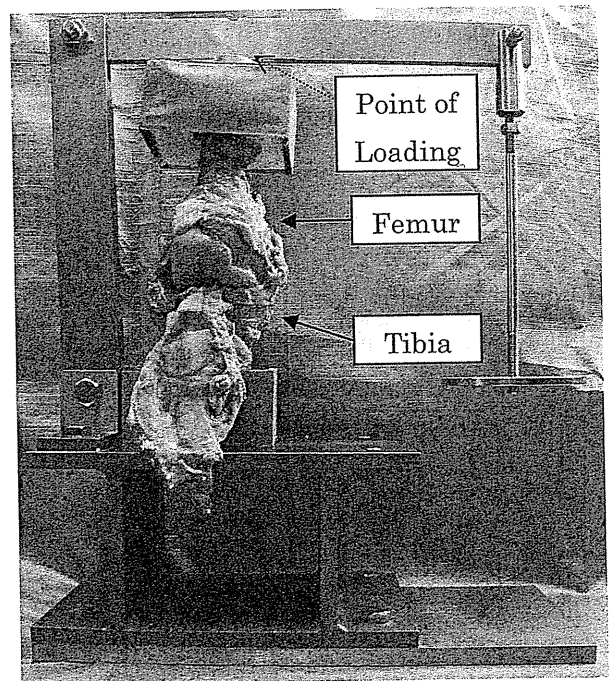


図1. Experimental setup for compression test on cadaveric knee.



軟骨モデルを各々構築した。その後、骨モデルと軟骨モデルの重ね合わせを手動（空間精度1°，1 mm未満）で行い<sup>4)</sup>，骨—軟骨モデルを作成した。本研究は実験実施施設の倫理規定に沿って行った。

## 2. 2方向CR撮影と接触圧力測定

重錘により切断膝へ任意の圧縮荷重を作用させることが可能なレバー・アーム型の自作装置に切断膝を伸展位で設置した（図1）。膝関節内に前方から内側および外側部それぞれに圧力センサー（F-scan，ニッタ株式会社，JAPAN：厚さ約0.1mm，センサーセルサイズ2.5×2.5 mm<sup>2</sup>）を挿入した（図2）。大腿脛骨関節面が

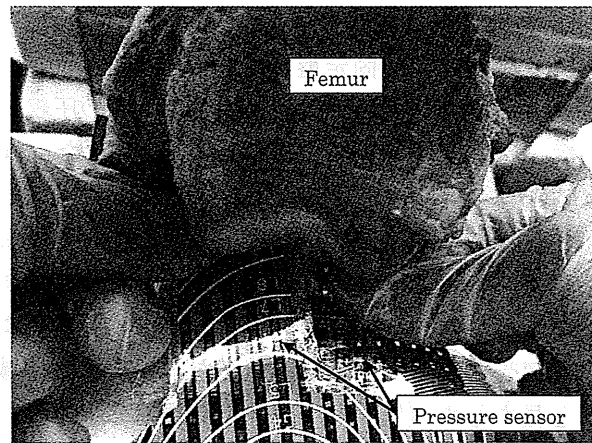


図2. Tactile pressure sensor inserted between the femur and tibia.

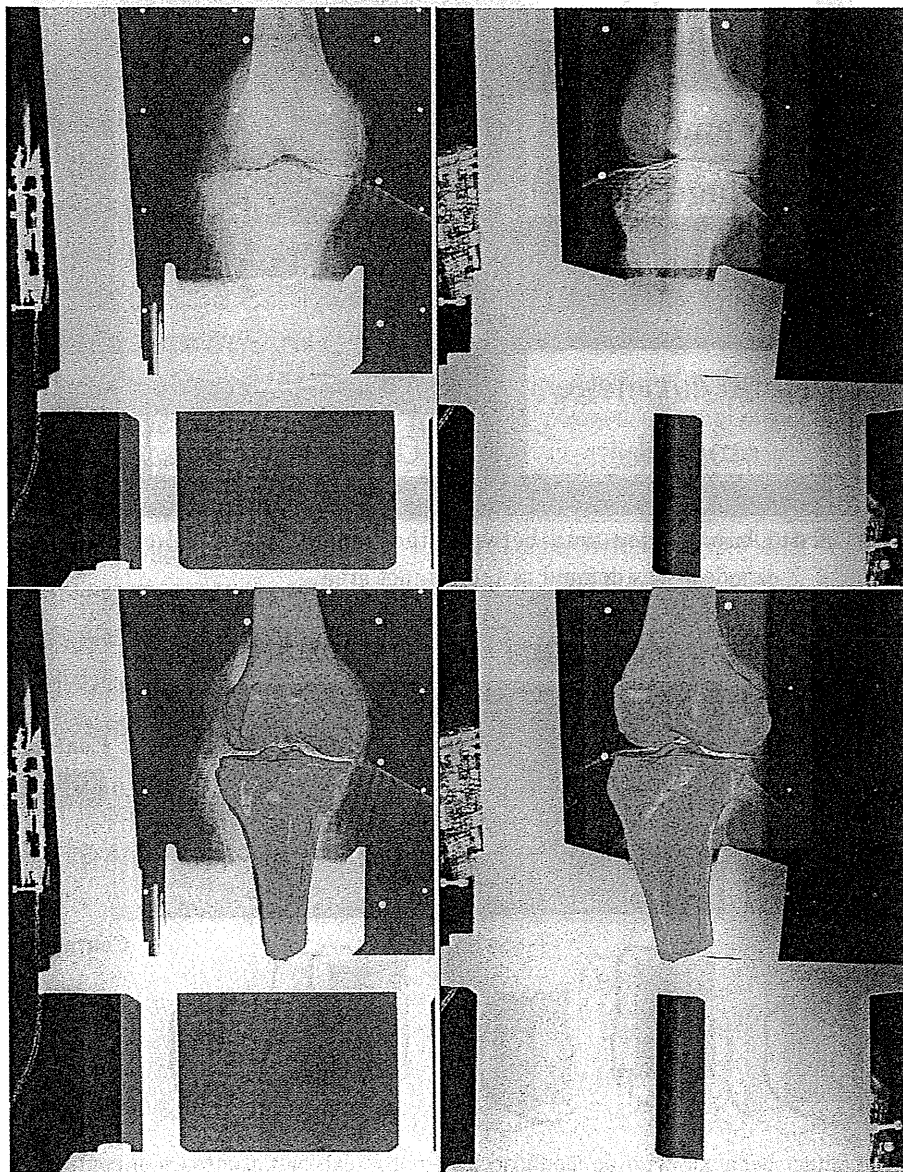


図3. 3D femoral and tibial bone models overlaid on bi-plane radiographs.

床面に対して水平となるように大腿骨と脛骨の各々の断端部を固定盤に骨セメントで固定し、この大腿骨側から鉛直下方に、3段階の圧縮荷重 (14.7N, 147.0N, 205.8N) を与えた。荷重を与えたままの状態で行った2方向CR撮影を行い、得られたCR画像の骨輪郭とCT骨モデルの投影輪郭との重ね合わせにより大腿骨と脛骨の3次元位置を決定した<sup>2)</sup> (図3)。そして大腿骨および脛骨の軟骨モデルが重複した部分を接触領域と見なした (図4)。この接触領域を圧力セン

サーにより得られた接触領域および接触圧力を比較することで、イメージマッチングによる膝関節接触状態評価法の有効性を検討した。

## 結 果

イメージマッチングによる軟骨重複量 (以下、接触深さ) の分布および圧力センサーによる接触圧力分布を各々求めた (図5)。圧力センサーによる接触圧力分布については脛骨軟骨モデルの輪郭線も併せて示した。軟骨接触深さおよび

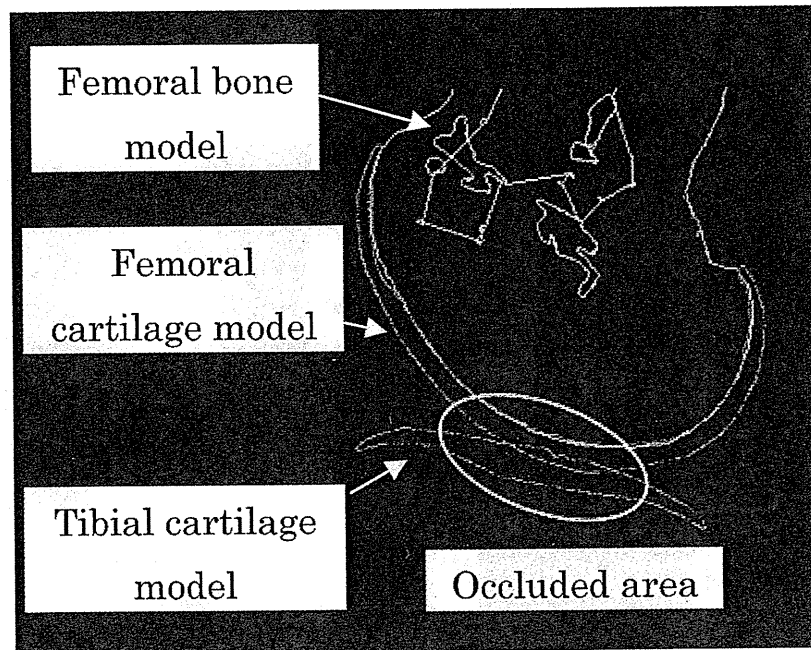


図4. An occluded area between the femoral and tibial cartilage models was defined as the contact area.

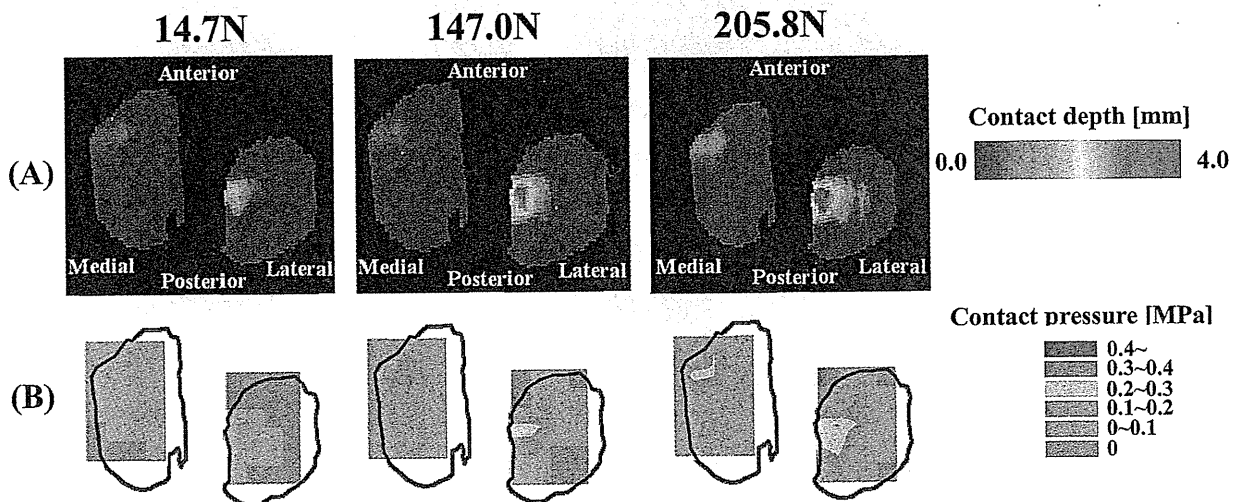


図5. Change in contact behavior with applied load in femorotibial joint. Contours of contact depth determined by image matching method (A) and contact pressure distributions measured by pressure sensor (B).

接触圧力はともに圧縮荷重が増すと増加した。また、圧力センサーで検知可能な圧力が生じている部分を接触領域と見なすことにすると、イメージマッチングによる軟骨重複位置と圧力センサーによる接触領域位置はほぼ対応した。

## 考 察

2D-3Dイメージマッチング法による膝関節運動のin vivo評価に関する研究は数多く報告されており、軟骨の接触状態を検討した例<sup>1)</sup>も見られるが、軟骨接触評価法の妥当性を検討した研究は見られない。本提示法ではイメージマッチングにより軟骨の接触深さを求める際、軟骨の変形を考慮していないので接触領域を厳密に表していない。また、骨・軟骨モデルの形状および寸法誤差とイメージマッチングの重ね合わせの空間精度を考慮すると軟骨接触深さの精度についてさらに検討する必要がある。しかしながら、イメージマッチングにより推定された軟骨重複領域と圧力センサーにより得られた軟骨接触領域はほぼ対応したことから、圧縮荷重の増加に伴い軟骨接触深さと接触圧力はともに増加したことから、イメージマッチングによる軟骨接触状態評価法は、関節軟骨の接触挙動を推定する手法として有効であると言える。

関節軟骨の最大接触深さが生じる位置と最大接触圧力が測定された位置はほぼ一致した。しかし、圧力センサーの空間分解能が低いことや圧力センサーの硬さにより関節面形状に完全に密着した状態で圧力測定を行っていない可能性があり、定量的な知見を得るためにはさらに検討する必要がある。今後圧力センサーの空間分解能等を向上させ、軟骨接触深さと接触圧力の関係を定量的に明らかにする予定である。

## ま と め

イメージマッチングにより軟骨接触状態を推定評価する方法の有効性を切断肢実験で検討した。イメージマッチングにより推定された接触領域と圧力センサーによるそれとがほぼ一致したことから、同法は関節軟骨の接触挙動のin vivo評価手法として有効であることが示された。

## <謝 辞>

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(B) No. 21360050および基盤研究(C) No. 22560074)の助成を受けて行われた。ここに記して謝意を表する。

## 文 献

- 1) DeFrate LE, Sun H et al. : In vivo tibiofemoral contact analysis using 3D MRI-based knee models. *J Biomech* 37 : 1499-1504, 2004.
- 2) Kobayashi K, Sakamoto M et al. : Automated image registration for assessing three-dimensional alignment of entire lower extremity and implant position using bi-plane radiography. *J Biomech* 42 : 2818-2822, 2009.
- 3) Kozanek M, Hosseini A et al. : Tibiofemoral kinematics and condylar motion during the stance phase of gait. *J Biomech* 42 : 1877-1884, 2009.
- 4) 小田川健一, 小林公一 他 : イメージレジストレーション法による膝関節の接触動態解析, *臨床バイオメカニクス* 31 : 349-355, 2010.
- 5) 白石善孝, 日垣秀彦 他 : 深屈曲動作時における生体膝の動態解析, *臨床バイオメカニクス* 30 : 215-221, 2009.

## Risk factors for the incidence and progression of radiographic osteoarthritis of the knee among Japanese

Akinobu Nishimura · Masahiro Hasegawa · Ko Kato · Tomomi Yamada · Atsumasa Uchida · Akihiro Sudo

Received: 30 April 2010 / Revised: 31 May 2010 / Accepted: 1 June 2010 / Published online: 18 June 2010  
© Springer-Verlag 2010

**Abstract** This longitudinal study aimed to identify risk factors for the incidence and progression of radiographic knee osteoarthritis (OA). We examined the inhabitants of Miyagawa village aged  $\geq 65$  years every two years between 1997 and 2007. Anteroposterior radiographs of both knees were graded for OA using the Kellgren-Lawrence (K/L) grading system. Knee OA was defined as grade  $\geq 2$ . We recorded the incidence of knee OA among participants in whom both knees changed from K/L grades 0 or 1 to  $\geq 2$  over a four-year follow-up period. We also recorded the progression of knee OA using this threshold among patients in whom one or both knees changed from K/L grades 2 or 3 to any higher grade over the follow-up period. Baseline data obtained from standard questionnaires, physical findings and X-rays included age, gender, body mass index (BMI), osteoporosis, Heberden's nodes, knee range of motion (ROM), knee pain and cigarette smoking. The rates of incidence and progression of knee OA among 360 participants (241 women, 119 men) who fulfilled the study criteria were 4.0 and 6.0% per year, respectively. Female gender (odds ratio [OR] 2.849, 95% confidence interval [CI] 1.170–6.944) and high BMI (OR 1.243, 95% CI 1.095–1.411) were significantly associated with the incidence of knee OA, and restricted knee ROM (OR 0.941,

95% CI 0.892–0.992) was significantly associated with knee OA progression. Patients with a low knee ROM relative to grade of radiographic knee OA require more careful follow-up than those with a higher ROM.

### Introduction

Osteoarthritis (OA) of the knee is a major chronic disease among the elderly and an important cause of impairment and disability with associated health care costs [1]. Japanese society is rapidly aging and thus the incidence of Japanese patients with knee OA is increasing. To understand the risk factors affecting the incidence and progression of OA is very important for prevention, and to understand the ratio of affected individuals, the length of time that knee OA takes to develop and its frequency is imperative.

Several studies have described various risk factors and their associations with the incidence of knee OA [2–4]. We have also examined the prevalence and risk factors for knee OA in a cross-sectional study [5]. However, cross-sectional studies cannot address how risk factors affect the initiation or progression of knee OA, so longitudinal studies are needed to define effective prevention strategies. The risk factors involved in the progression and incidence of knee OA differ. For example, far more patients with, than without, knee OA undergo total knee arthroplasty, and the knee OA can remain stable over long periods or rapidly progress [6, 7]. Conservative approaches such as pain medication and injections into the joint are more useful for low, than for high-grade (severe) knee OA. Severe knee OA often requires a surgical approach such as total knee arthroplasty. In order to prevent progression to severe knee OA and initiation of the disease are equally important

A. Nishimura (✉) · M. Hasegawa · K. Kato · A. Uchida · A. Sudo  
Department of Orthopaedic Surgery,  
Mie University Graduate School of Medicine,  
2-174 Edobashi,  
Tsu City, Mie 514-8507, Japan  
e-mail: meiten@clin.medic.mie-u.ac.jp

T. Yamada  
Department of Translational Medical Science,  
Mie University Graduate School of Medicine,  
Tsu, Mie, Japan

public health strategies. Indeed, six of 1,172 participants in this study have already received total knee replacements. Thus, to distinguish progressive and non-progressive knee OA is important. However, few studies have attempted to differentiate incidence from progression in a longitudinal study [8–10]. We investigated risk factors for the incidence and progression of radiographic knee osteoarthritis among Japanese inhabitants of Miyagawa in a longitudinal study.

## Materials and methods

The study participants were recruited from among inhabitants  $\geq 65$  years of age in Miyagawa, a mountain village located in the centre of Mie Prefecture, Japan. The population of this village was 4,196 in 1997, when 1,463 of residents met the age criterion. The population dropped to 3,624 by 2008, at which time 1,544 individuals met the age criterion. We examined those who enrolled in 1997, 1999, 2001, and 2003 every two years, and those who enrolled during 2007, at Houtoku Hospital in the village. The Committee for the Ethics of Human Research of Mie University approved the study protocol, and all participants provided written, informed consent before enrollment in the study.

Baseline data obtained from standard questionnaires administered by orthopedic surgeons included information regarding age, gender, medical history, knee pain, and cigarette smoking. Knee pain was determined from the question, "Have you experienced knee pain lasting for over one month during the past year?" Knee pain was estimated as absent, one-sided or bilateral. The mean range of movement (ROM) of both knees was measured using a protractor. Height and weight were measured and then body mass index (BMI) was calculated. Other medical examinations comprised radiography of knees and hands (for Heberden's nodes) and bone mineral density (BMD). The BMD at the distal third of the non-dominant side radius was measured using dual energy X-ray absorptiometry (DCS-600EX; Aloka, Tokyo, Japan). Osteoporosis was defined as 2.5 standard deviations (SD) of BMD lower than that of the young adult mean (YAM) of a healthy young adult of the same gender.

Fully extended anteroposterior (AP) radiographs of both knees (non weight-bearing) were scored for radiographic knee OA according to the Kellgren Lawrence (K/L) grading system [11]. Confirmed radiographic knee OA was defined as a K/L grade of  $\geq 2$ . All knee radiographs were independently evaluated by three orthopaedic specialists and the final score was reached by consensus of two or three of them, but the middle score was accepted when the opinions of all three differed. A change in OA in both knees from a K/L grade of 0 or 1 to  $\geq 2$  over a four-year follow-up

period in individual patients was recorded as incidence. A change in OA in one or both knees from K/L grades 2 or 3 at baseline to any higher grade over the follow-up period using this threshold was recorded as progression.

We used the grade of the most affected knee at baseline and follow-up to classify incidence and progression. Thus, only one knee per individual was analysed and generalised estimating equations were not required to account for correlations between both knees of each individual. Radiographically determined changes in either joint space or osteophyte scores were also analysed to derive estimates of incidence and progression. Individuals with rheumatoid arthritis or who had undergone total knee replacement were excluded. Rheumatoid arthritis was defined from answers to the question, "Have you ever been diagnosed with rheumatoid arthritis?" Ankylosing spondylitis was not identified in any of the participants.

*Statistical analysis* Means  $\pm$  standard deviations (SD) were calculated for variables unless otherwise noted. The risk of incidence and progression was analysed from multivariate logistic regression analysis. Variables included in the analysis were age, gender, BMI, osteoporosis, Heberden's nodes, ROM of bilateral knees, and knee pain (one or both knees). Results are summarised as odds ratios (OR) with 95% confidence intervals (CI). The significance level for entry into the model was 0.05. All data were statistically analysed using Stat View-J 5.0 software on a personal computer running Windows.

## Results

Six patients who had received total knee replacements were excluded from among the 1,172 participants who attended six examinations associated with this study. We identified 360 villagers who fulfilled the study criteria. The main cause of exclusion was that many did not participate in the examination four years later. The cohort comprised 241 women and 119 men ranging in age from 65 to 89 years at baseline (overall mean age,  $71.0 \pm 4.7$  years;  $70.8 \pm 4.5$  and  $71.3 \pm 5.1$  years for women and men, respectively).

Table 1 shows the distribution of K/L grades for the most affected knee at baseline and at the four-year follow-up of the 360 participants. The prevalence of knee OA (Grade 2 or higher) increased from 27.5% (19.3% male, 31.5% female) to 43.3% (30.3% male, 49.8% female) over four years; that is, 4.0% of the cohort per year (2.7% male, 4.6% female) developed knee OA. The progression rate of knee OA was 22 (23.9%) among 92 participants and 6.0% per year.

Table 2 shows relationships between each risk factor and the incidence of knee OA. Baseline K/L grades of 0 or 1

**Table 1** Changes in radiographic Kellgren-Lawrence grades of knee osteoarthritis over four years in 360 participants

Evaluation	0	I	II	III	IV	Total	% of OA	% of OA / year
All								
Baseline	129	132	64	28	7	360	27.5	
Follow-up	75	129	96	48	12	360	43.3	4.0
Male								
Baseline	47	49	14	6	3	119	19.3	
Follow-up	29	54	23	9	4	119	30.3	2.7
Female								
Baseline	82	83	50	22	4	241	31.5	
Follow-up	46	75	73	39	8	241	49.8	4.6

OA osteoarthritis

Analysis based on worst-affected knee at baseline and follow-up

advanced to grade  $\geq 2$  in 57 of 261 participants (incidence OA group). This group significantly differed from the group without OA in terms of gender ( $p=0.0209$ ; OR 2.849; 95% CI 1.170–6.944) and BMI ( $p=0.0008$ ; OR 1.243; 95% CI 1.095–1.411).

Table 3 shows the relationship between each risk factor and progressive knee OA. Among 92 participants with baseline K/L grades 2 or 3, 22 of them advanced to a higher grade (Progressive OA group). This and the groups with no OA progression significantly differed in terms of knee ROM ( $p=0.0242$ ; OR, 0.941; 95% CI, 0.892–0.992). Knee ROMs of  $<120^\circ$  were identified in 7 (31.8%) of 22 and in 5 (7.1%) of 70 in the progressive and non-progressive OA groups, respectively.

## Discussion

The results of this longitudinal cohort study of the inhabitants of Miyagawa showed that the rates of incidence and progression of knee OA were 4.0 and 6.0% per year, respectively. The risk of incidence of radiographic knee OA significantly increased among women with a higher

baseline BMI. Risk for the progression of radiographically defined knee OA significantly increased when baseline knee ROM was lower.

The annual incidence rate of knee OA was 4.0% (2.7% male, 4.6% female), which is higher than previously reported. Zhang et al. [12] (Framingham study) found a rate of 1.9% (1.4% male, 2.3% female) and Cooper et al. [13] found a rate of 2.5%. We found that the rate of progressive knee OA was 6.0%, which was also higher than that reported by Zhang et al. [12] and Cooper et al. [13], who reported rates of 3.6 and 3.7%, respectively. We suppose that our results differed mainly because the age of our study cohort at baseline was  $\geq 65$  years, whereas those of Zhang et al. [12] and Cooper et al. [13] were  $>40$  and  $>55$  years, respectively, which were relatively younger than our cohort. Race and lifestyle factors also differ. In general, our findings support the theory that advancing age increases the prevalence of knee OA.

Risk factors for the incidence of knee OA in many countries have been reported. They include obesity (high BMI) [14, 15], gender (female) [14], aging [14, 16], previous knee trauma [14], occupational kneeling or squatting [15, 17] and a higher BMD [18–20]. Obesity

**Table 2** Determinants of incidence of radiographic knee osteoarthritis in 261 participants during the four-year follow-up period

Demographic	Incident OA ( $n=57$ )	No OA ( $n=204$ )	Odds ratio	95% CI	<i>P</i> value
Age	70.8 $\pm$ 20.4	70.5 $\pm$ 21.9	1.021	0.953–1.094	0.5498
Gender (female/male)	44/13	121/83	2.849	1.170–6.944	0.0209
BMI	23.9 $\pm$ 7.1	22.6 $\pm$ 6.3	1.243	1.095–1.411	0.0008
Osteoporosis (+/-)	22/35	73/131	0.932	0.463–1.879	0.8447
Heberden's nodes (+/-)	29/28	88/116	1.307	0.701–2.433	0.3993
Knee ROM	141.4 $\pm$ 65.5	141.8 $\pm$ 48.5	1.009	0.965–1.056	0.6823
Knee pain (-/+)	34/14/9	140/49/15	1.434	0.905–2.273	0.125
Cigarette smoking (+/-)	9/45	48/159	1.214	0.447–3.293	0.7036

Knee pain defined as: - absent, + one sided, ++ bilateral

OA osteoarthritis, CI confidence interval, BMI body mass index, ROM range of movement



**Table 3** Determinants of progression of radiographic knee osteoarthritis in 92 participants during the four-year follow-up period

Demographic	Progressive OA (n=22)	Non-progressive OA (n=70)	Odds ratio	95% CI	P value
Age	70.7±4.7	71.6±5.0	0.934	0.826–1.055	0.2706
Gender (female/male)	3/19	53/17	1.318	0.223–7.752	0.761
BMI	25.4±4.7	24.8±2.8	0.932	0.779–1.114	0.4372
Osteoporosis (+/-)	6/16	20/50	1.669	0.444–6.279	0.4485
Heberden's nodes (+/-)	15/7	38/32	2.012	0.598–6.757	0.2588
Knee ROM	129.8±11.2	136.8±11.3	0.941	0.892–0.992	0.0242
Knee pain (-/+ /++)	7/10/5	22/19/29	0.628	0.316–1.250	0.1851
Cigarette smoking (+/-)	2/20	11/59	0.732	0.087–6.151	0.7742

Knee pain defined as: – absent, + one sided, ++ bilateral

OA osteoarthritis, CI confidence interval, BMI body mass index, ROM range of movement

and previous knee trauma in Japan have also been reported as risk factors [2, 21, 22]. Our previous cross-sectional study [5] also found that a higher BMI, female gender, more advanced age and a higher BMD were significantly associated with an increased risk of radiographic knee OA. This longitudinal study showed that gender and obesity were risk factors for the incidence of knee OA, whereas aging was not. Felson et al. [23] did not find an association between increased age and the incidence of OA, because their sample was elderly at study inception. Our study found no association between age and the incidence of knee OA. The incidence might level off in the elderly.

Understanding the risk factors for the progression and incidence of knee OA are equally important, because treatment differs according to grade. Conservative treatment (such as muscle-strengthening, supportive devices, physical therapy agents, non-steroidal anti-inflammatory drugs and intra-articular hyaluronic acid injections) are useful for mild (low-grade) knee OA; however, severe (high-grade) knee OA sometimes requires a surgical approach such as total knee arthroplasty. The risk factors for progressive knee OA reported by Felson et al. [8] are obesity, not smoking and weight gain, whereas those reported by Cooper et al. [13] are obesity, knee pain and Heberden's nodes. Felson et al. [5] reported that smoking favourably affects rates of other diseases, such as inflammatory bowel disease, and one of the many constituents of smoke might inhibit cartilage destruction. However, this finding is not universal and smoking did not affect the progression of knee OA in our study. Zhang et al. [12] reported that obesity and low BMD are risk factors for knee OA progression, whereas a high BMD is a risk factor for knee OA incidence. They indicated that only BMD as a risk factor differed between the progression and incidence of knee OA. We found here that a low knee ROM was the only risk factor for progressive knee OA. In

particular, OA progressed more among participants with a knee ROM of <120° than among those with a knee ROM of >120°. To our knowledge, knee ROM has not been examined, since low knee ROM has not been recognised as a risk factor for progressive knee OA; yet restricting hip flexion by >20% is a risk factor of progressive hip OA [24]. How low knee ROM causes knee OA to progress is not entirely clear. Nevertheless, the same mechanism involved in hip OA might also function in knee OA because the knees are also weight-bearing joints. We concluded that patients with a low knee ROM relative to grade of radiographic knee OA, particularly a low grade, require more careful follow-up.

Our study has several potential limitations. Firstly, Miyagawa is a mountain village, and many inhabitants are typically engaged in forestry. Secondly, participants who could attend the hospital were generally healthier than non-participants. Thirdly, this investigation was based on a relatively small cohort over a comparatively short duration. Therefore, the statistical significance of the risk factors might be relatively low. Further investigations are planned with more participants over a longer term, as the study will be continued every two years.

## Conclusion

The incidence and progression of radiographic knee OA increased at rates of 4.0% and 6.0% per year, respectively, in a Japanese population aged ≥65 years. Female gender and obesity (high BMI) were risk factors for incidence, whereas restricted ROM (low knee ROM) was a risk factor for the progression of knee OA. Patients with low knee ROM relative to grade of radiographic knee OA might require more careful follow-up than those with a higher ROM.



**Disclosure** No benefits in any form have been received or will be received from a commercial party related directly or indirectly to the subject of this article.

## References

- Salaffi F, Carotti M, Stancati A, Grassi W (2005) Health-related quality of life in older adults with symptomatic hip and knee osteoarthritis: a comparison with matched healthy controls. *Aging Clin Exp Res* 17:255–263
- Yoshimura N, Nishioka S, Kinoshita H, Hori N, Nishioka T, Ryujin M, Mantani Y, Miyake M, Coggon D, Cooper C (2004) Risk factors for knee osteoarthritis in Japanese women: heavy weight, previous joint injuries, and occupational activities. *J Rheumatol* 31:157–162
- Hart DJ, Doyle DV, Spector TD (1999) Incidence and risk factors for radiographic knee osteoarthritis in middle-aged women: the Chingford study. *Arthritis Rheum* 42:17–24
- Srikanth VK, Fryer JL, Zhai G, Winzenberg TM, Hosmer D, Jones G (2005) A meta-analysis of sex differences prevalence, incidence and severity of osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil* 13:769–781
- Sudo A, Miyamoto N, Horikawa K, Urawa M, Yamakawa T, Yamada T, Uchida A (2008) Prevalence and risk factors for knee osteoarthritis in elderly Japanese men and women. *J Orthop Sci* 13:413–418
- Spector TD, Dacre JE, Harris PA, Huskisson EC (1992) Radiological progression of osteoarthritis: an 11 year follow up study of the knee. *Ann Rheum Dis* 51:1107–1110
- Hernborg JS, Nilsson BE (1977) The natural course of untreated osteoarthritis of the knee. *Clin Orthop Relat Res* 123:130–137
- Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, Naimark A, Weissman B, Aliabadi P, Levy D (1997) Risk factors for incident radiographic knee osteoarthritis in the elderly: the Framingham Study. *Arthritis Rheum* 40:728–733
- Slemenda C, Heilman DK, Brandt KD, Katz BP, Mazucca SA, Braunstein EM, Byrd D (1998) Reduced quadriceps strength relative to body weight: a risk factor for knee osteoarthritis in women? *Arthritis Rheum* 41:1951–1959
- Ledingham J, Regan M, Jones A, Doherty M (1995) Factors affecting radiographic progression of knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 54:53–58
- Kellgren JH, Lawrence JS (1957) Radiological assessment of osteo-arthrosis. *Ann Rheum Dis* 16:494–502
- Zhang Y, Hannan MT, Chaisson CE, McAlindon TE, Evans SR, Aliabadi P, Levy D, Felson DT (2000) Bone mineral density and risk of incident and progressive radiographic knee osteoarthritis in women: the Framingham study. *J Rheumatol* 27:1032–1037
- Cooper C, Snow S, McAlindon TE, Kellingray S, Stuart B, Coggon D, Dieppe PA (2000) Risk factors for the incidence and progression of radiographic knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 43:995–1000
- Felson DT (1988) Epidemiology of hip and knee osteoarthritis. *Epidemiol Rev* 10:1–28
- Coggon D, Croft P, Kellingray S, Barrett D, McLaren M, Cooper C (2000) Occupational physical activities and osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum* 43:1443–1449
- Felson DT, Naimark A, Anderson J, Kazis L, Castelli W, Meenan RF (1987) The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham osteoarthritis study. *Arthritis Rheum* 30:914–918
- Felson DT, Hannan MT, Naimark A, Berkeley J, Gordon G, Wilson PW, Anderson J (1991) Occupational physical demands, knee bending, and knee osteoarthritis: results from the Framingham study. *J Rheumatol* 18:1587–1592
- Hannan MT, Anderson JJ, Zhang Y, Levy D, Felson DT (1993) Bone mineral density and knee osteoarthritis in elderly men and women. The Framingham study. *Arthritis Rheum* 36:1671–1680
- Burger H, van Daele PL, Odding E, Valkenburg HA, Hofman A, Grobbee DE, Schutte HE, Birkenhager JC, Pols HA (1996) Association of radiographically evident osteoarthritis with higher bone mineral density and increased bone loss with age. The Rotterdam study. *Arthritis Rheum* 39:81–86
- Sowers M, Lachance L, Jamadar D, Hochberg MC, Hollis B, Crutchfield M, Jannausch ML (1999) The associations of bone mineral density and bone turnover markers with osteoarthritis of the hand and knee in pre-and perimenopausal women. *Arthritis Rheum* 42:483–489
- Yoshimura N, Kinoshita H, Hori N, Nishioka T, Ryujin M, Mantani Y, Miyake M, Takeshita T, Ichinose M, Yoshiida M, Oka H, Kawaguchi H, Nakamura K, Cooper C (2006) Risk factors for knee osteoarthritis in Japanese men: a case-control study. *Mod Rheumatol* 16:24–29
- Iwamoto J, Takeda T, Ichimura S (2002) Forearm bone mineral density in postmenopausal women with rheumatoid arthritis. *Calcif Tissue Int* 70:1–8
- Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, Naimark A, Weissman BN, Aliabadi P, Levy D (1995) The incidence and natural history of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham osteoarthritis study. *Arthritis Rheum* 38:1500–1505
- Reijman M, Hazes JM, Pols HA, Bernsen RM, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM (2005) Role of radiography in predicting progression of osteoarthritis of the hip: prospective cohort study. *BMJ* 330:1183

# 高齢者転倒に関与する危険因子としての運動機能の検討

## —第7回旧宮川村検診結果より—

### Epidemiology of Risk Factors for Falling

西村 明展<sup>1,2)</sup> Akinobu Nishimura 加藤 公<sup>1)</sup> Ko Kato  
 福田 亜紀<sup>3)</sup> Aki Fukuda 須藤 啓広<sup>2)</sup> Akihiro Sudo

#### ● Key words

Epidemiology : Falling : Physical function

#### ● 要旨

目的：転倒の危険性が高い高齢者を検出する運動機能検査を模索することを目的とした。

方法：65歳以上を対象とした旧宮川村検診のうち、2009年の第7回旧宮川村検診に参加した314名を対象とした。転倒評価は過去2年間で1回でも転倒した群を転倒群(76名)、転倒しなかった群を非転倒群(238名)とした。検討項目は年齢、性別、Body Mass Index (BMI)、6m通常速度歩行の歩行時間・歩数、6m最大速度歩行の歩行時間・歩数、開眼片脚立位時間の平均値、20cm narrow walkのはみ出し数を検討した。

結果および結論：通常速度歩行の歩行時間と歩数で有意差を認めた。通常速度歩行の歩行速度と歩幅の大きさが転倒しやすさの簡便で有用な指標と考えられた。

#### はじめに

日本は2007年より65歳以上人口が21%以上である超高齢社会を迎え、約780万~1,100万人が骨粗鬆症に罹患していると推測されている<sup>1)</sup>。また、転倒の約10%が大腿骨頸部骨折などの重篤な外傷を引き起こすとも報告されており<sup>2)</sup>平成19年の国民生活基礎調査では要支援・要介護者の原因の9.3%が転

倒・骨折によるものとされている。つまり、転倒を予防することが高齢者の介護予防に繋がると考えられる。このため、転倒の危険性が高い高齢者の筋力・バランスを簡便にスクリーニングする方法があれば、介入すべき高齢者をスクリーニングでき、有用性が高いと考えられる。本研究の目的は一般高齢者の転倒に関連する安全かつ簡便な運動機能検査を模索することである。

西村明展  
〒514-8507 津市江戸橋2-174  
三重大学大学院医学系研究科スポーツ整形外科  
TEL 059-231-5022

- 1) 三重大学大学院医学系研究科スポーツ整形外科  
Department of Orthopaedic and Sports Medicine, Graduate School of Medicine, Mie University
- 2) 三重大学大学院医学系研究科運動器外科学  
Department of Musculoskeletal Surgery, Graduate School of Medicine, Mie University
- 3) 鈴鹿回生病院整形外科  
Department of Orthopaedic Surgery, Suzuka Kaisei Hospital

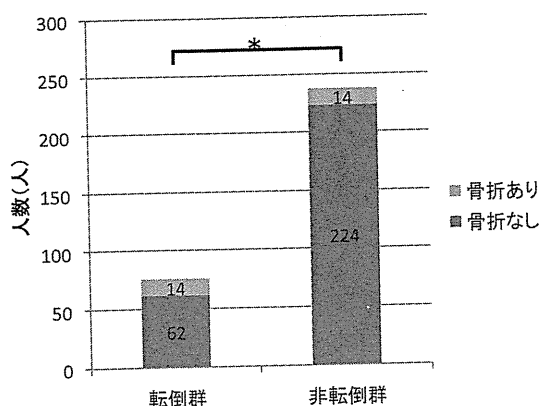


図1 転倒群・非転倒群と既存骨折  
\*  $p < 0.05$ : 対応のないt検定

## 方 法

旧宮川村に在住する65歳以上の男女を対象としたコホート研究である旧宮川村検診(1997年より2年毎に検診)のうち、2009年の第7回に参加した314例(男性105例、女性209例、平均年齢75.6歳(65~94歳))を対象とした。旧宮川村は林野率が96%の林業を主産業とした山村である。全人口は2008年で3,624人であり、今回対象となる65歳以上の高齢者は1,544人であった。検診方法は問診票を郵送し、検診時に問診票を持参のうえ、受診していただいた。問診票には氏名、生年月日、年齢、性別などの基本情報を記載してもらうほか、過去2年間での転倒の有無、骨折の既往の有無も記載してもらった。検診日には医師による直接診察で身長、体重、握力を測定した。運動機能検査はRibomら<sup>4)</sup>の報告を参考として6m通常速度歩行に要する時間・歩数、6m最大速度歩行に要する時間・歩数、5回椅子立ち上がり時間(腕を組んで5回の立ち上がり要する時間)、左右の開眼片脚立位時間の平均値、20cm narrow walk(20cmの幅、長さ6mでテープを貼り、その間を歩行させ、テープからはみ出した回数を測定、歩行に要する時間には制限なし)を測定した。これらの運動機能検査は理学療法士により行なわれた。

検討項目は年齢、性別、BMI、6m通常歩行の歩行時間・歩数、6m最大速度歩行の歩行時間・歩数、左右の片脚立位時間の平均値、20cm narrow walkのはみ出し数を変数<sup>4)</sup>として検討した。統計学

的解析には対応のないt検定(性別以外)もしくは $\chi^2$ 検定(性別のみ)で単変量解析を行なった後に、有意差があったものをロジスティック回帰分析で多変量解析を行なった。いずれも $p < 0.05$ を有意差ありとした。

## 結 果

314名中、転倒群は76名、非転倒群は238名であった。転倒群の14名(18.4%)、非転倒群の14名(5.8%)が骨折の既往があり(図1)、転倒群は非転倒群に比べ有意に多く骨折していた。また、その骨折の部位は転倒群が胸腰椎5例、手関節5例、肋骨3例、膝関節2例、肩関節1例、足関節1例、股関節1例であり、非転倒群が手関節5例、胸腰椎3例、足関節2例、膝関節2例、足部2例であった(いずれの群も1人で複数骨折を有することがあるため、合計が骨折の既往を有する人数より多くなる)。単変量解析では年齢・握力・通常速度歩行の歩行時間および歩数・最大速度歩行の歩行時間および歩数・開眼片脚起立の平均時間・20cm narrow walkのはみ出し数で有意差を認めた(表1)。単変量解析で有意差が得られたものを多変量解析で解析すると6m通常速度歩行の歩行時間(オッズ比(OR): 2.46, 95%信頼区間(CI): 1.59-3.82)・歩数(OR: 0.66, 95% CI: 0.48-0.90)で有意差を認めた(表2)。

## 考 察

転倒は障害物をよけることができなかつた際につまずき、バランスをくずして起こる。つまり、下肢の筋力やバランス能の低下が転倒に影響すると考えられている。Ammussenら<sup>3)</sup>は年齢とともに高齢者の筋力が低下すると報告しており、静的筋力より動的筋力、上肢より下肢の筋力低下が著しいと報告している。このため、高齢者は転倒をしやすくなり、骨粗鬆症も相まって介護を要するような大腿骨頸部骨折を代表とした外傷を引き起こす。高齢者の転倒予防に関する試みは国内外でいくつか行なわれており、その評価法はさまざまである。転倒のしやすさと運動機能検査の関連を評価する報告も散見される。坂田ら<sup>5)</sup>は高齢者自身でできる転倒予防法の指

表1 運動機能検査と転倒の関係(単変量解析)

	転倒群 (n=76)	非転倒群 (n=238)	危険率
年齢(歳)	77.5±6.3	75.0±6.0	p=0.0019
性別(人)	男24/女52	男81/女157	p=0.6926
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	23.2±3.3	23.5±3.5	p=0.5490
握力(kg)	24.4±7.0	26.5±7.2	p=0.0092
通常速度歩行の速度(秒)	7.5±3.3	6.1±2.0	p<0.0001
通常速度歩行の歩数(歩)	13.0±3.4	12.0±2.7	p=0.0092
最大速度歩行の速度(秒)	5.8±2.5	4.9±1.7	p=0.0006
最大速度歩行の歩数(歩)	11.6±2.9	10.7±2.6	p=0.0146
5回椅子立ち上がり(秒)	12.6±6.2	10.6±3.9	p=0.0011
片脚立位時間(秒)	17.5±19.5	23.1±20.5	p=0.0342
20cm narrow walk(回)	3.5±5.4	2.0±3.9	p=0.0080

表2 運動機能検査と転倒の関係(多変量解析)

	転倒群	非転倒群	オッズ比	95% CI	危険率
年齢(歳)	77.5±6.3	75.0±6.0	1.06	1.00-1.11	p=0.0506
握力(kg)	24.4±7.0	26.5±7.2	1.05	1.00-1.11	p=0.0528
通常速度歩行の速度(秒)	7.5±3.3	6.1±2.0	2.28	1.51-3.44	p<0.0001
通常速度歩行の歩数(歩)	13.0±3.4	12.0±2.7	0.68	0.501-0.928	p=0.0147
最大速度歩行の速度(秒)	5.8±2.5	4.9±1.7	0.851	0.591-1.226	p=0.3865
最大速度歩行の歩数(歩)	11.6±2.9	10.7±2.6	0.853	0.643-1.130	p=0.2677
5回椅子立ち上がり(秒)	12.6±6.2	10.6±3.9	1.026	0.941-1.118	p=0.5619
片脚立位時間(秒)	17.5±19.5	23.1±20.5	1.002	0.986-1.019	p=0.7727
20cm narrow walk(回)	3.5±5.4	2.0±3.9	1.027	0.937-1.126	p=0.5647

標として開眼片脚起立時間が有効であるとしている。北ら<sup>6)</sup>は開眼片脚起立時間と timed up & go が有用であり、開眼片脚起立時間が15秒未満、timed up & goが11秒以上のものを運動器不安定症の基準としている。さらに北ら<sup>6)</sup>はダイナミックフラミンゴ療法の1年間の介入により開眼片脚起立時間が改善し、転倒の55%、骨折の62%を減少させることができたとしている。一方、Ribomら<sup>4)</sup>は69歳から80歳男性の population-based studyにて右手の握力が弱いこと、通常歩行の歩行時間が遅いこと、歩幅が狭いことが転倒のリスクであると報告している。Ferrandezら<sup>7)</sup>はバランス制御のメカニズムの低下が高齢者の歩行速度減少に繋がると報告しており、西沢ら<sup>8)</sup>は歩幅の減少には下肢筋力の低下が影響すると報告している。実際に星野ら<sup>9)</sup>は転倒予防教室の結果を通常歩行の歩幅改善や接地時間の

改善にて評価をしており、良好な改善結果が得られたと報告している。今回のわれわれの調査では開眼片脚立位時間は単変量解析(対応のないt検定)では有意な差が得られたものの、多変量解析(ロジスティック回帰分析)ではその有意差が消失し、多変量解析で有意差が得られたのは通常歩行の歩行時間と歩幅であった。疫学調査で用いられる高齢者体力の指標として代表的なものに10m最速歩行や最大1歩幅など<sup>10)</sup>があるが、今回の調査結果から6m程度の短い距離の通常速度歩行の歩行時間と歩数を評価するだけで、転倒リスクの高い高齢者のスクリーニングや、転倒予防教室の効果判定に十分な評価法であると考えられた。

本研究の限界は対象が314名と少数であること、旧宮川村という山村の限られた地域住民を対象としていること、検診の対象者が検診所まで移動可能な

比較的健康的な高齢者であることがあげられる。また、2年毎の検診であるため、過去2年間での転倒の有無を評価対象としているが、過去2年間の転倒経験では記憶が薄れて、転倒の既往が低く見積もられてしまう可能性も考えられる。

今後の課題として、本研究は横断研究であるため、転倒の結果として歩行速度および歩幅の減少をきたしたのか、歩行速度と歩幅の減少により転倒に至ったのかがわからないことがあげられる。本検診を継続して行ない、縦断的に経過をみていくことにより、このことを明らかにしていきたい。

### 結 語

高齢者の転倒危険性をスクリーニングするには6m通常速度歩行での歩行時間と歩数を測定することが簡便で有用な方法と考えられた。

### 文 献

- 1) 折茂 肇ほか：2006年版骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン。ライフサイエンス出版、東京：4-6, 2006.
- 2) Tinetti ME et al : Preventing Falls in Elderly Persons. N Engl J Med, 348 : 42-49, 2003.
- 3) Ammussen E et al : Aging and exercise. Environ Physiol, 3 : 417-428, 1980.
- 4) Ribom EL et al : Estimation of physical performance and measurements of habitual physical activity may capture men with high risk to fall--data from the Mr Os Sweden cohort. Arch Gerontol Geriatr, 49 : e72-76, 2009.
- 5) 坂田悍教ほか：運動器不安定症を有する地域高齢者に関する開眼片脚立位特性. 整形・災害外科, 50 : 17-25, 2007.
- 6) 北 潔ほか：開眼片脚起立時間からみた運動器不安定症. 臨整外, 41 : 757-763, 2006.
- 7) Ferrandez A et al : Locomotion in the elderly. Posture and Gait, Development, Adaptation and modulation, Amblard et al (eds), 115-124, 1988.
- 8) 西沢 哲ほか：高齢者歩行の決定要因. バイオメカニズム, 15 : 131-139, 1999.
- 9) 星野克之ほか：転倒予防教室における高齢者の歩行の変化. 骨折, 27 : 102-105, 2005.
- 10) 奥泉宏康ほか：転倒予防教室における転倒と身体能力の関係. 骨折, 27 : 97-101, 2005.