

厚生労働科学研究費補助金(長寿科学総合研究事業)

分担研究報告書

《大阪大学 2009年度》

動作解析装置を用いた歩行障害・ADL傷害の解明に関する研究

I. 分担研究者氏名・所属機関名及び所属機関における職名

菅野 伸彦	大阪大学大学院 医学系研究科 運動器医工学治療学 寄附講座教授
津田 晃佑	大阪大学大学院 医学系研究科 器官制御外科学 大学院生
柿本 明博	協和会病院 整形外科 部長
川上 秀夫	大阪警察病院 整形外科 医長
中村 宣雄	協和会病院 整形外科 人工関節センター長

II. 研究要旨

内側型変形性膝関節症の発症や進行に伴う膝関節運動や歩行の変化を、3次元歩行解析装置を用いて解析し、歩行中の膝関節にかかる力学的パラメータと臨床症状や重症度との関連を検討評価した。その結果、立脚初期における膝関節動的内反が本症の発症、進行に大きく影響し、立脚初期における膝関節の内反モーメントの増減が変形性膝関節症の進行予測や予防法評価の有用な指標となる可能性が

強く示唆された。

Ⅲ. 研究目的

変形性関節症は高齢者が要支援となる疾患の第1位を占め、高齢化社会を迎える日本の医療においてその適切な診断・治療に対するニーズは大きい。中でも変形性膝関節症は近年の食生活の欧米化に伴う肥満化により増加傾向にあるが、病状の進行により歩行能力が低下しADLを大きく障害する。進行した変形性膝関節症に対する人工膝関節全置換術 (Total Knee Arthroplasty: TKA)、単顆型人工関節置換術 (Unicompartmental Knee Arthroplasty: UKA)、あるいは高位脛骨骨切り術 (High Tibial Osteotomy: HTO)は確立した治療法であるが、早期からの適切な診断と治療、さらには進行の予防法が確立され、手術加療を回避することが可能になれば、絶大な医療経済効果を生み出すと考えられる。

変形性膝関節症の診断には通常単純X線を用いるが、患者が症状を訴えるのは歩行や階段昇降、しゃがみこみなどの実際の動作中であり、静的評価である単純X線では実際の病態を反映しないことも多い。われわれは、下肢CTと光学的歩行解析装置を組み合わせた4次元動作解析で、Dynamicな下肢荷重線の動きの可視化と膝の動的内外反量の計測表示が可能なソフトを開発して変形性膝関節症の病態を評価してきた [1,2]。そこで、単純X線に変わる新たな評価方法として、内側型変形性膝関節症に対する3次元歩行解析を行い、変形性膝関節症の発症、進行に伴う膝関節運動や歩行の変化を解析した。歩行中の膝関節にかかる力学的パラメータと臨床症状や重症度との関連を検討することで、得られた解析パラメータが変形性膝

関節症の病態を反映しているかを検証するとともに、これらのパラメータが変形性膝関節症の進行予測や予防法評価に有用な指標となりうるかを運動学的観点から策定することが本研究の目的である。

IV. 研究方法

大阪大学医学部附属病院整形外科および協和会病院整形外科において加療中の症例を対象に、3次元動作解析装置を用いて動作解析を行った。各症例の性別、年齢、身長、体重を聴取し、日本整形外科学会変形性膝関節症治療判定基準 (JOA Score) [3]、Knee Society Score (Knee Score, Functional Score) [4]、Visual Analog Scale (VAS) による安静時および歩行時の疼痛の有無と程度、大腿四頭筋筋力測定器 (ALCARE Co. Ltd., Tokyo, Japan) (Fig.1) によって測定した大腿四頭筋筋力によって膝関節の臨床評価を行った。さらに、各症例に対して単純X線撮影を行い、Kellgren-Lawrence分類 [5] によるRosenberg肢位 [6] での重症度の判定と、立位下肢長尺正面像における大腿骨脛骨角 (femorotibial angle: FTA) [7] およびhip-knee-ankle angle (HKA) [8] の計測を行った。

本研究における動作解析の概略は以下の通りである。まず対象症例の骨盤および下肢の体表面に直径25mmの赤外線反射マーカ (Fig.2) を貼付した。貼付部位は、両上前腸骨棘、両下前腸骨棘、両大腿部外側、両膝関節外側上顆、両下腿部外側、両足関節外果、両第2中足骨骨頭、両踵部である。貼付部位の写真を示す (Fig.3)。3次元動作解析装置 (VICON 512, Oxford Metrics Ltd., UK) を使用し、6台のCCDカメラ (Fig.4) で体表面に貼付された赤外線反射マーカを追跡することで位

置データを取得し、2枚の床反力計 (Multi-Component Force Plate, AMTI Inc., Newton, MA, USA) (Fig.5) のデータと同期させることで動作解析を行った。今回取得・解析した動作は4.5mの歩行動作で、数回の練習後、複数回 (最低3回以上) の歩行動作データを取得した。Work Station上でPolygon Authoring Tool Version 3.1 (Oxford Metrics Ltd., UK) を用いて取得データを解析し、評価側下肢のInitial Contact時の膝関節内反モーメントを算出した。

算出した膝関節内反モーメントを体重・身長換算した値と、臨床評価 (Spearman's 相関係数、 $r > 0.4$: 相関関係あり)、および単純X線による重症度 (Non-repeated measures ANOVA、 $p < 0.05$: 有意差あり) との関連を、統計学的に検討した。



Fig.1 大腿四頭筋筋力測定器



Fig.2 赤外線反射マーカ

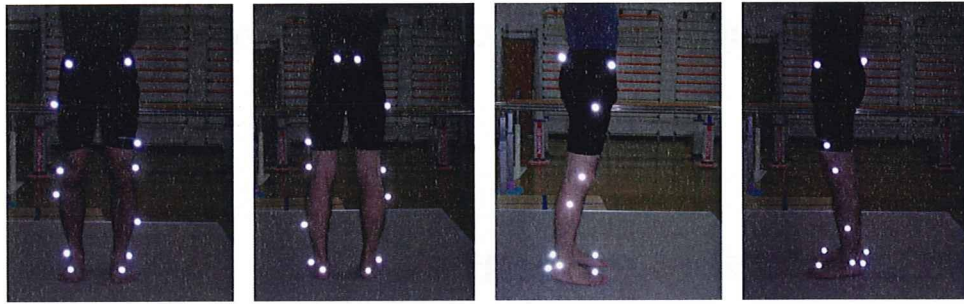


Fig.3 赤外線反射マーカを貼付した状態（左より、正面、背面、右面、左面）



Fig.4 CCDカメラ

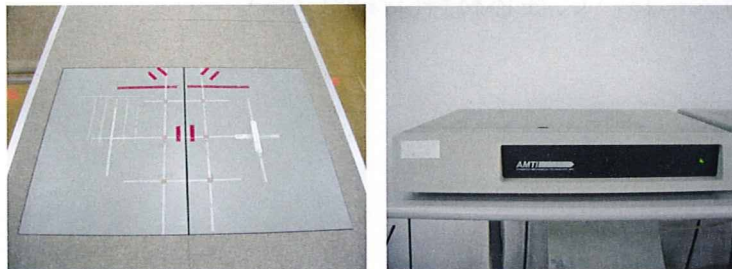


Fig.5 床反力計

V. 安全面・倫理面への配慮

1. 安全面

本臨床研究は、リハビリテーション室内で行なう動作解析であり、歩行や日常生活動作を3次元動作解析装置で記録分析するもので、対象症例に過度の負担を強い

るものではなく、被験者の安全に関して まったく問題はない。

2. 倫理面

2-1. 被験者のプライバシー確保に関する対策

本臨床研究の登録・実施にあたっては、症例の個人情報を削除してデータを記録している。また、個人情報保護法を遵守して情報を取り扱っており、報告、発表については個人の特定される情報は公表されない。

2-2. 研究結果の被験者への告知について

本臨床研究から得られた結果については、医学雑誌を通じて公開する予定で、公共の利益に寄与できると考える。

2-3. 被験者から採取した生体材料の取り扱いについて

本臨床研究において、生体材料は採取しない。

VI. 研究結果

2008年12月～2010年4月の17ヶ月間において、164膝の歩行データを取得・解析した。男性26膝、女性138膝、解析時平均年齢は70歳（43-85）であった。平均身長は153cm（138-183）、平均体重は58kg（41-87）、平均Body Mass Index（BMI）は25（17-36）であった。JOA Scoreは平均74点（30-100）、Knee Scoreは平均65点（-1-100）、Functional Scoreは平均61点（-20-100）、安静時VASは平均6.2（0-70）、歩行時VASは平均26（0-100）、大腿四頭筋筋力は平均0.31kg/kg（0.06-0.82）であった。FTAは平均179度（170-193）、HKAは平均-6.23度（-25.4-5.72）であった。

Kellgren-Lawrence分類による重症度判定は、0度が23膝、1度が18膝、2度が44膝、3度が45膝、4度が34膝であった。Initial Contact時の膝関節内反モーメントを体重身長換算した値は平均421Nmm/kg・m (114-711) であった。

膝関節内反モーメントと臨床評価との相関の有無を検討したところ、Functional Score、歩行時VAS、大腿四頭筋筋力と内反モーメントの間に相関関係を認めなかったが、JOA Score、Knee Score、FTA、HKAの間に相関関係を認めた (Table.1)。一方、単純X線による重症度により内反モーメントを比較したところ、重症度が増すにつれて内反モーメントが大きく傾向を認め (Fig.6)、またKL-0とKL-1、KL-1とKL-2、KL-3とKL-4の間には有意な差を認めなかったが、KL-0とKL-2、-3、-4の間、KL-1とKL-3、-4の間、KL-2とKL-3、-4の間にはいずれも有意な差を認めた (Table.2)。

Table.1 膝関節内反モーメントと臨床評価との相関係数

JOA Score	r=0.40
Knee Score	r=0.49
Functional Score	r=0.21
歩行時VAS	r=0.35
大腿四頭筋筋力	r=0.04
FTA	r=0.50
HKA	r=0.65

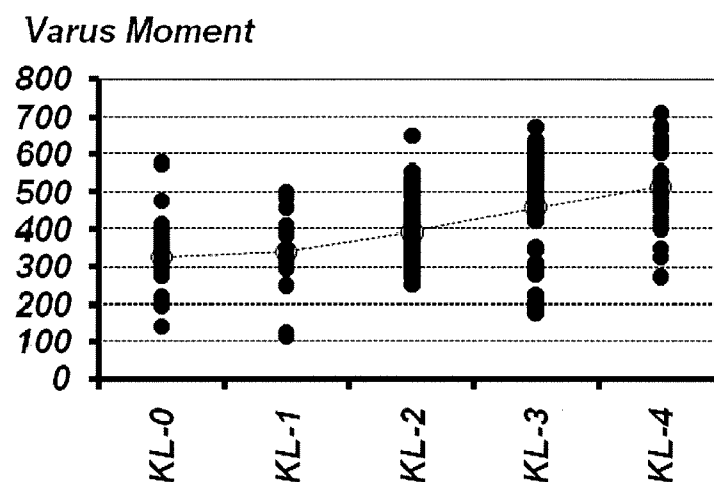


Fig.6 単純X線による重症度別膝関節内反モーメント

Table.2 重症度別膝関節内反モーメント間の比較

	KL-1	KL-2	KL-3	KL-4
KL-0	0.44	0.011	0.0001	0.0001
KL-1	–	0.25	0.002	0.0001
KL-2	–	–	0.002	0.0001
KL-3	–	–	–	0.21

尚、今回データを解析した164膝の年齢、性別、身長、体重、BMI、JOA Score、Knee Score、Functional Score、歩行時VAS、大腿四頭筋筋力、単純X線のKellgren-Lawrence分類による重症度、FTA、HKA、Initial Contact時の膝関節内反モーメント、単純X線像（Rosenberg像、立位下肢長尺正面像）をまとめ、本報告書の末尾に添付する。

VII. 考 察

これまで変形性膝関節症の重要な関節負荷指標として、歩行中の膝関節内反モーメントが提唱され、病態・予後との関連が研究されてきた [9,10,11]。これらによれば、内反型変形性膝関節症の進行に伴って歩行中の膝関節内反モーメント値が増大するため、膝関節内反モーメント値が変形性膝関節症の進行の指標になるとされている。しかしこれら欧米のデータが、わが国の変形性膝関節症患者の評価指標になりうるかは不明である。また、日本人の変形性膝関節症患者に関する関節負荷についてはほとんど報告されておらず、病態・予後との関連もいまだ不明のままである。肥満は変形性膝関節症のリスク因子であることが指摘されているが、日本においても近年の食生活の欧米化に伴う肥満化が認められ、高齢化と相重なって、高齢者の変形性膝関節症は増加傾向にある。病状の進行により歩行能力とADLの低下を来すため、その適切な診断と治療、さらには早期からの予防が必要であることは否めない。しかしながら、運動力学的な観点から日本人の変形性膝関節症の病態を解明し、治療法の選択や病状進行の予防法の確立の指標となるような歩行や動作解析の研究は、いまだ十分になされていない。さらに、変形性膝関節症の診断には単純X線を用いることが多いが、患者が症状を訴える場合、その多くは歩行時や階段昇降時などの実際の動作中であり、静的評価である単純X線では実際の病態を反映しないことも少なくない。

今回行った3次元歩行解析の結果から、内側型変形性膝関節症では、FTAの増加とHKAの減少に伴って、歩行中の内反モーメントが大きくなる傾向を認めた。FTAの増加とHKAの減少はともに、膝関節の内反変形の進行を意味しており、膝関節の内

側軟骨変性や軟骨下骨変形に伴い、歩行周期のInitial Contact時に膝関節の動的
内反が生じていることを示唆していると考えられた。

また、単純X線による重症度により内反モーメントを比較したところ、KL-0、-1、-2
と、KL-3、-4の間にはいずれも有意な差を認め、重症度が増すにつれて歩行中の
内反モーメントが大きくなる傾向を認めたことから、より重症度の高い症例でInitial
Contact時の膝関節動的な内反が生じており、内反モーメントの増減が重症度を反映
する可能性を示唆していると考えられた。

一方、大腿四頭筋筋力は歩行時の内反モーメントと相関関係を認めず、大腿四頭
筋の筋力低下が内側型変形性膝関節症の進行指標とするには至らなかった。大腿
四頭筋の筋力は臥位での膝関節セッティング動作で測定しているため、歩行時の
膝関節動的な内反を反映しなかったためと考えられる。

今回の研究で我々が使用した3次元動作解析装置はX線を用いることなく、非侵襲
的に様々な動作中の関節負荷を計測することが可能であり、患者が症状を訴える歩
行や階段昇降などのADL動作を計測することで、より病態を反映した指標を取得で
きると考えている。今後も、低侵襲な動作解析装置を用いて歩行初期の内反モーメ
ントを測定することにより、変形性膝関節症の進行を的確に評価できることを提唱し
たいと考えている。また、各種の介入治療を行い、その効果を動作解析により得られ
る運動力学的パラメータを用いて評価することで、変形性膝関節症の進行度に応じ
た適切な装具治療の選択や生活指導指針の作成を行うことが可能になるのではな
いかと考えている。

VIII. 結 語

内側型変形性膝関節症の発症や進行に伴う膝関節運動や歩行の変化を、3次元歩行解析装置を用いて解析し、歩行中の膝関節にかかる力学的パラメータと臨床症状や重症度との関連を検討評価した。その結果、立脚初期における膝関節動的内反が本症の発症、進行に大きく影響し、立脚初期における膝関節の内反モーメントの増減が変形性膝関節症の進行予測や予防法評価の有用な指標となる可能性が強く示唆された。

IX. 参考文献

- [1] Kawakami H, Sugano N, Yonenobu K, Yoshikawa H, Ochi T, Nakata K, Toritsuka Y, Hattori A, Suzuki N. Change in the locus of dynamic loading axis on the knee joint after high tibial osteotomy. *Gait Posture*. 2005;21:271-8.
- [2] Kawakami H, Sugano N, Yonenobu K, Yoshikawa H, Ochi T, Hattori A, Suzuki N. Gait analysis system for assessment of dynamic loading axis of the knee. *Gait Posture*. 2005;21:125-30.
- [3] 膝疾患治療成績判定基準委員会 日本整形外科学会誌 1988;62:900-2.
- [4] Insall JN, Dorr LD, Scott RD, Scott WN. Rationale of the Knee Society clinical rating system. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;248:13-4.
- [5] Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*. 1957;16:494-502.
- [6] Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD, Coward DB, Scott SM. The

forty-five-degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. J Bone Joint Surg Am. 1988;70:1479-83.

[7] Petersen TL, Engh GA. Radiographic assessment of knee alignment after total knee arthroplasty. J Arthroplasty. 1988;3:67-72.

[8] Hernigou P, Medevielle D, Debeyre J, Goutallier D. Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. A ten to thirteen-year follow-up study. J Bone Joint Surg Am 1987;69:332-54.

[9] Hurwitz DE, Ryals AR, Block JA, Sharma L, Schnitzer TJ, Andriacchi TP. Knee pain and joint loading in subjects with osteoarthritis of the knee. J Orthop Res. 2000;18:572-9.

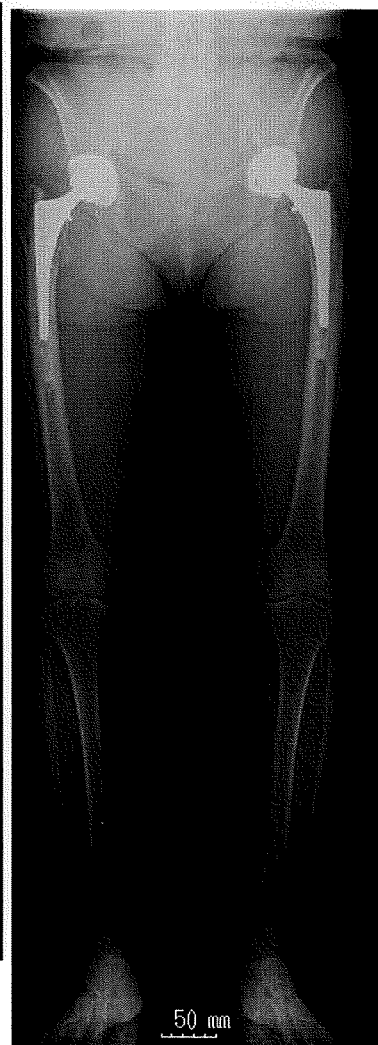
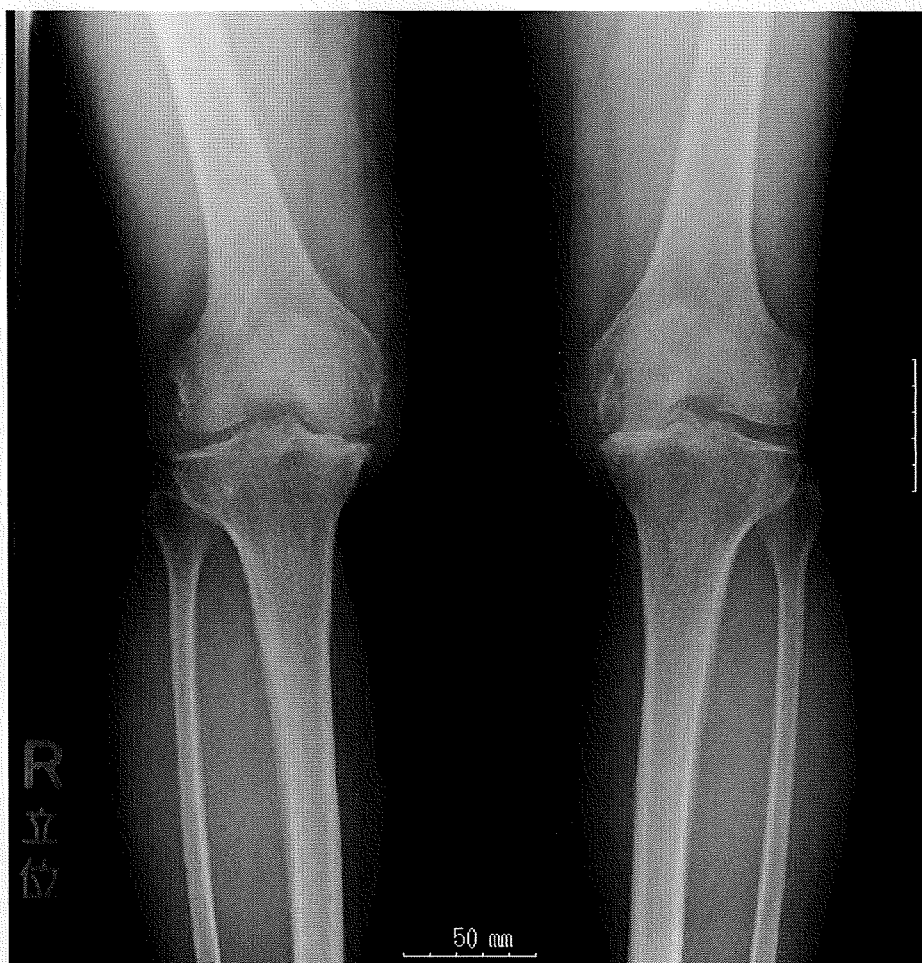
[10] Hurwitz DE, Ryals AB, Case JP, Block JA, Andriacchi TP. The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain. J Orthop Res. 2002;20:101-7.

[11] Mündermann A, Dyrby CO, Hurwitz DE, Sharma L, Andriacchi TP. Potential strategies to reduce medial compartment loading in patients with knee osteoarthritis of varying severity: reduced walking speed. Arthritis Rheum. 2004;50:1172-8.

X. 解析症例一覧

【OSK0001】

Side : Lt Age(y.o.) : 79 Sex : Female
Height(cm) : 147 Weight(kg) : 51 BMI : 23.5
JOA Score : 70 Knee Score : 28 Functional Score : 50 VAS(Gait) : 100
Quad. Muscle Force(Nmm/kg/m) : No data



KL Grade(Rosenberg) : 4

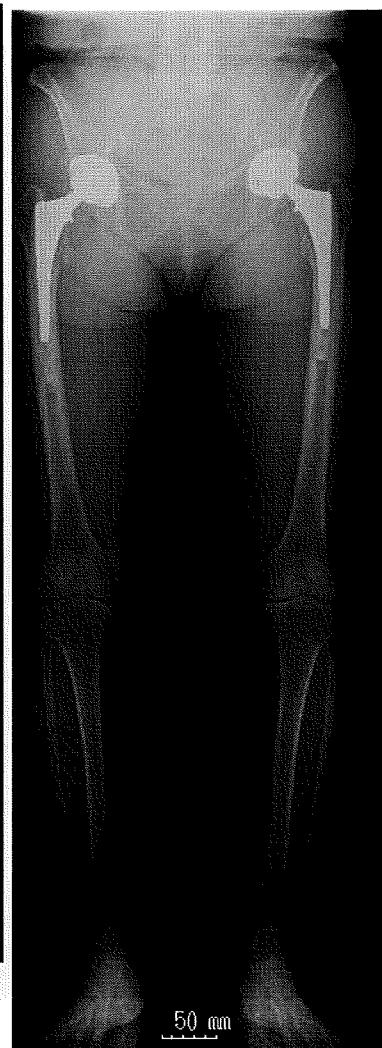
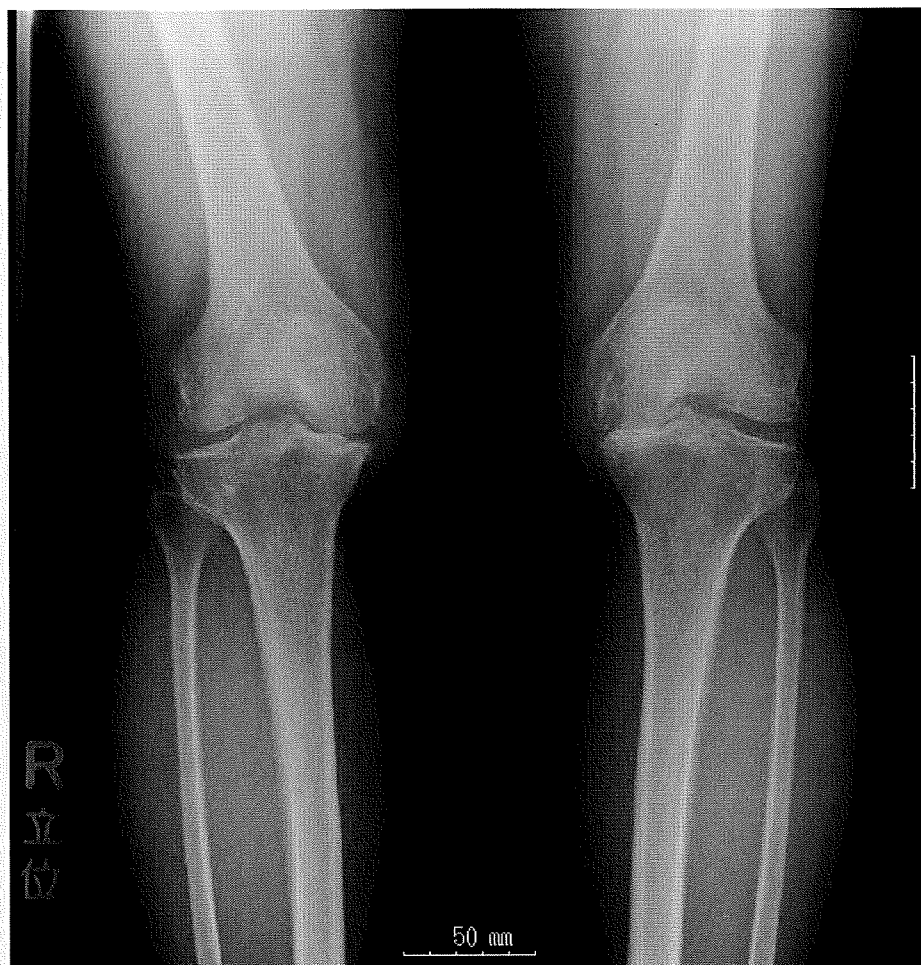
FTA($^{\circ}$) : 180

HKA($^{\circ}$) : -8.58

★Knee Joint Varus Moment(@Initial Contact)(Nmm/kg/m) : 349

【OSK0002】

Side : **Rt** Age(y.o.) : **79** Sex : **Female**
Height(cm) : **147** Weight(kg) : **51** BMI : **23.5**
JOA Score : **70** Knee Score : **40** Functional Score : **50** VAS(Gait) : **100**
Quad. Muscle Force(Nmm/kg/m) : **No data**



KL Grade(Rosenberg) : 3

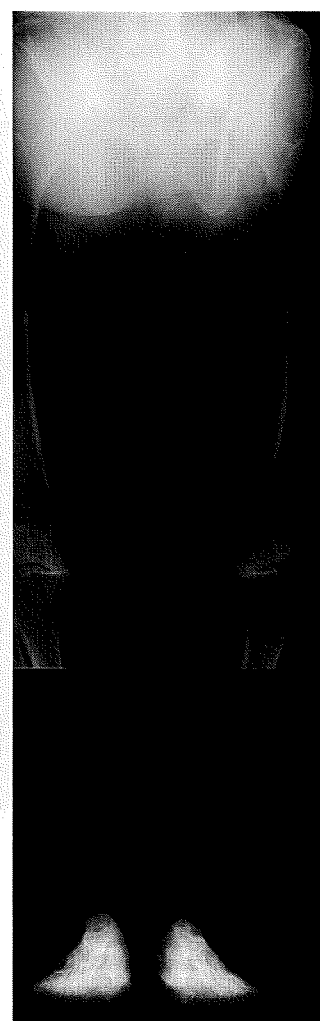
FTA(°) : 176

HKA(°) : -6.1

★Knee Joint Varus Moment(@Initial Contact)(Nmm/kg/m) : 290

【OSK0003】

Side : Lt	Age(y.o.) : 68	Sex : Female	
Height(cm) : 155	Weight(kg) : 74	BMI : 30.8	
JOA Score : 45	Knee Score : 5	Functional Score : 50	VAS(Gait) : 40
Quad. Muscle Force(Nmm/kg/m) : No data			



KL Grade(Rosenberg) : 4

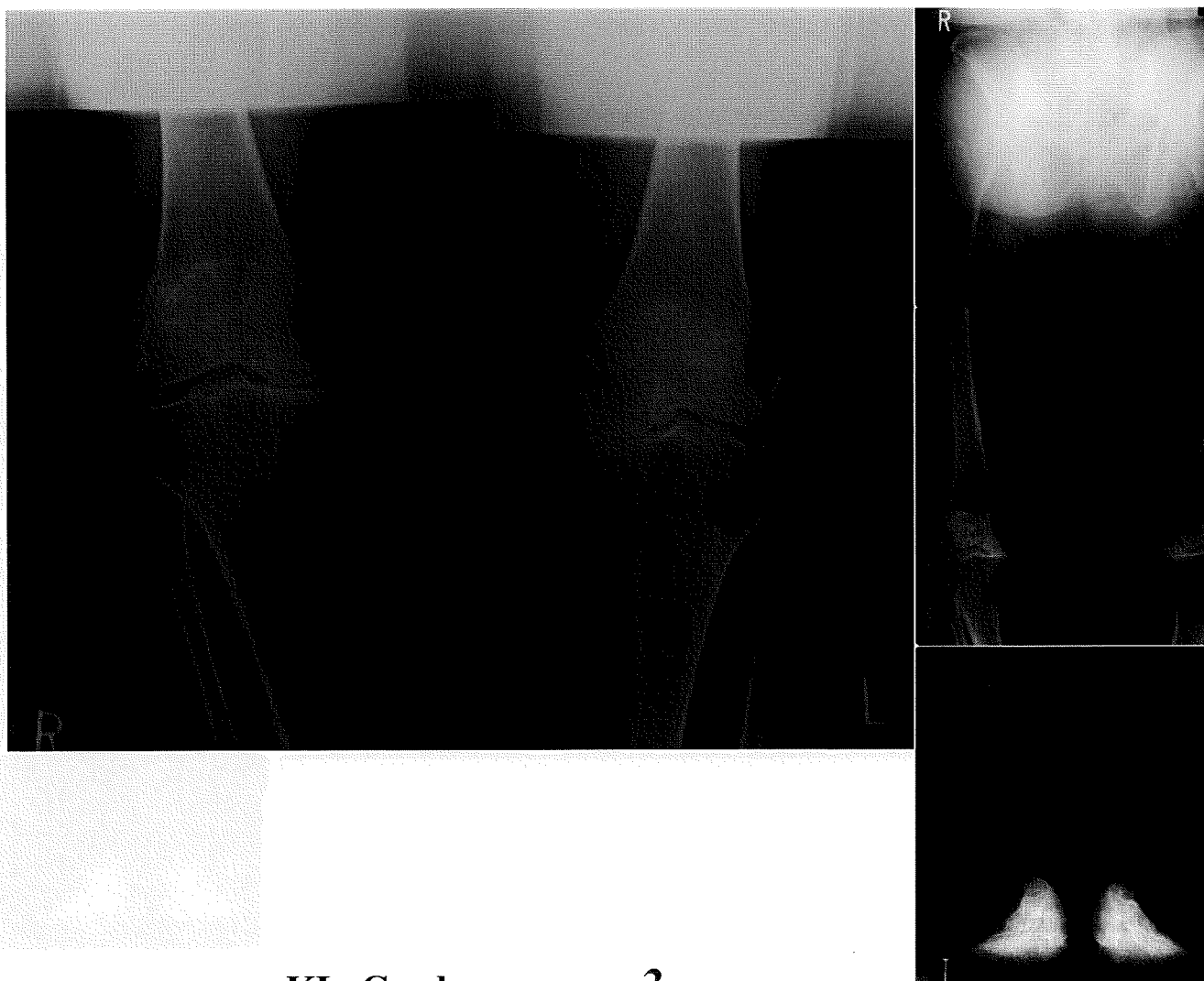
FTA(°) : 180

HKA(°) : -16.9

★Knee Joint Varus Moment(@Initial Contact)(Nmm/kg/m) : 629

【OSK0004】

Side : **Rt** Age(y.o.) : 68 Sex : Female
Height(cm) : 155 Weight(kg) : 74 BMI : 30.8
JOA Score : 55 Knee Score : 6 Functional Score : 50 VAS(Gait) : 30
Quad. Muscle Force(Nmm/kg/m) : No data



KL Grade(Rosenberg) : 3

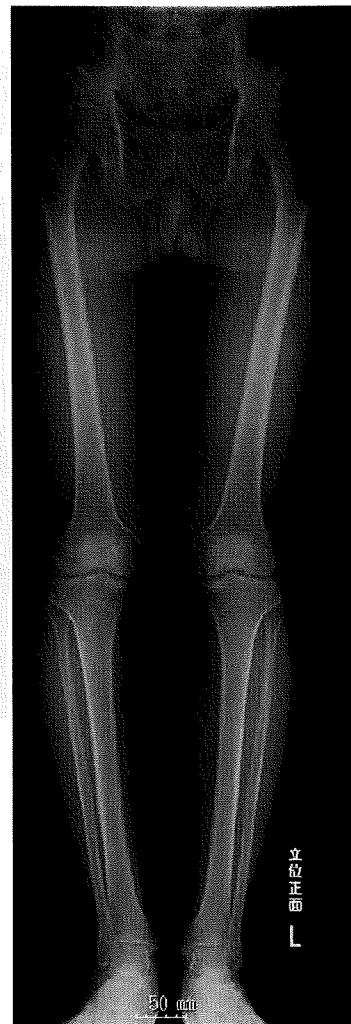
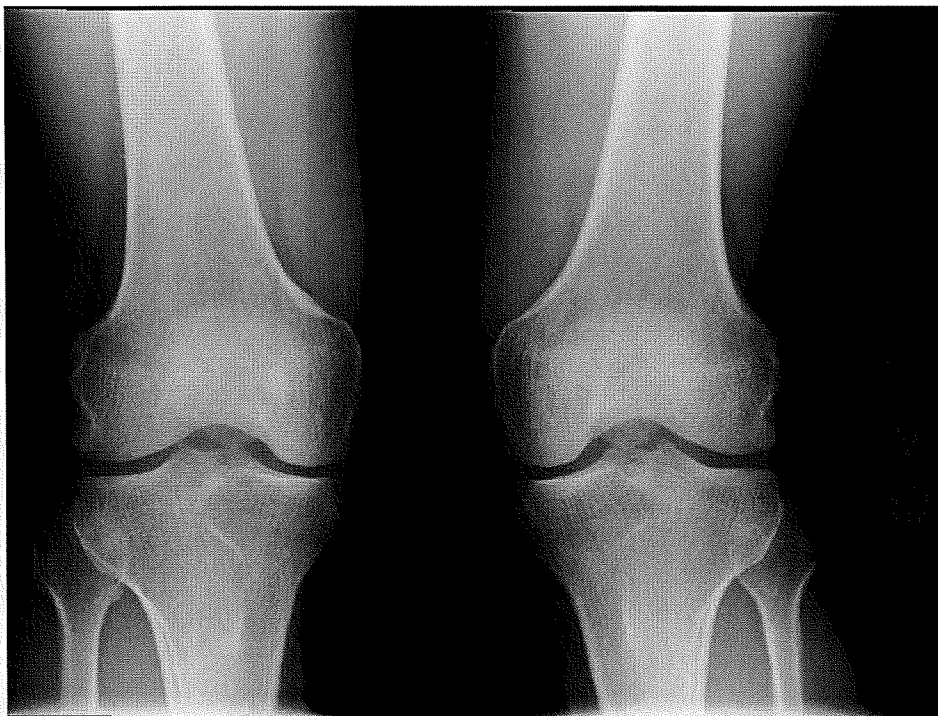
FTA(°) : 187

HKA(°) : -13.5

★Knee Joint Varus Moment(@Initial Contact)(Nmm/kg/m) : 636

【OSK0005】

Side : Lt Age(y.o.) : 61 Sex : Male
Height(cm) : 173 Weight(kg) : 64 BMI : 21.4
JOA Score : 100 Knee Score : 100 Functional Score : 100 VAS(Gait) : 0
Quad. Muscle Force(Nmm/kg/m) : No data



KL Grade(Rosenberg) : 0

FTA(°) : 173

HKA(°) : -1.18

★**Knee Joint Varus Moment(@Initial Contact)(Nmm/kg/m) : 200**

【OSK0006】

Side : **Rt**

Age(y.o.) : 61

Sex : Male

Height(cm) : 173

Weight(kg) : 64

BMI : 21.4

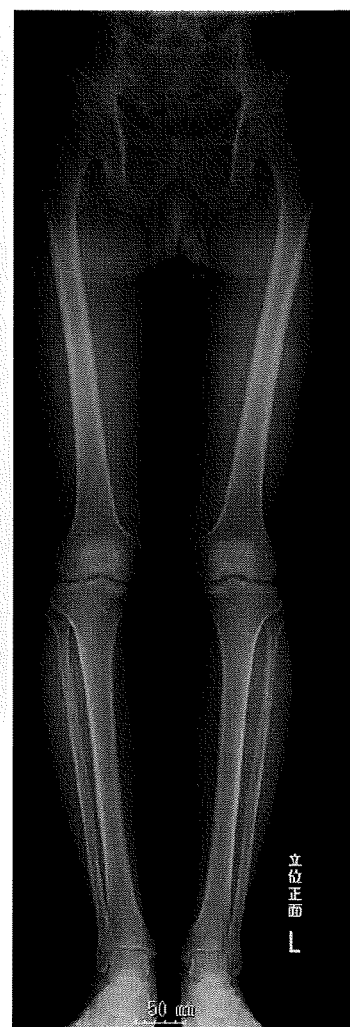
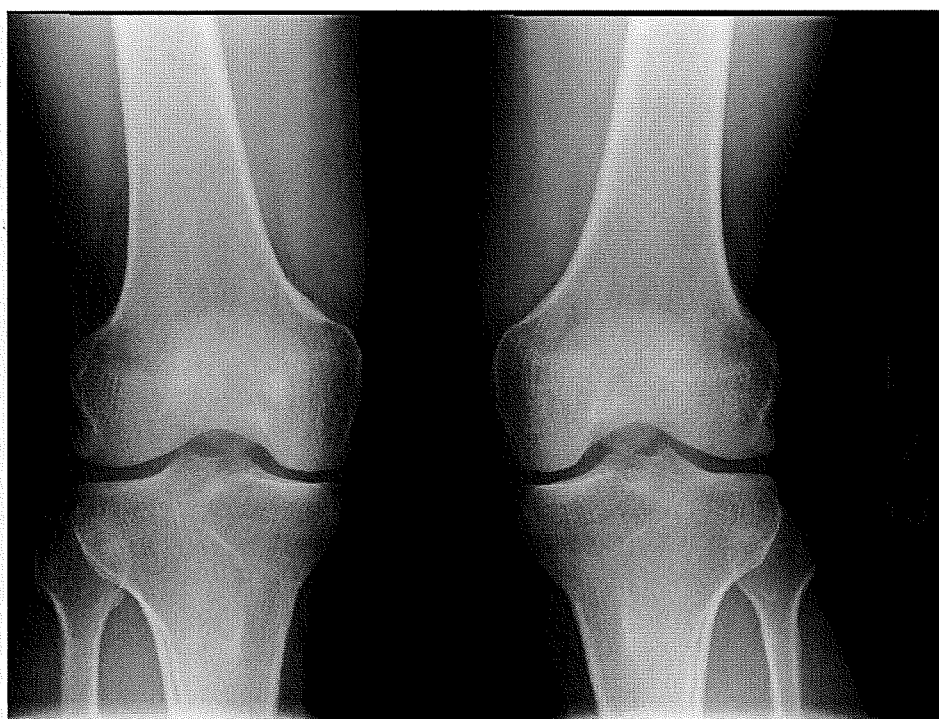
JOA Score : 100

Knee Score : 97

Functional Score : 100

VAS(Gait) : 0

Quad. Muscle Force(Nmm/kg/m) : No data



KL Grade(Rosenberg) : 0

FTA(°) : 176

HKA(°) : -3.86

★**Knee Joint Varus Moment(@Initial Contact)(Nmm/kg/m) : 197**

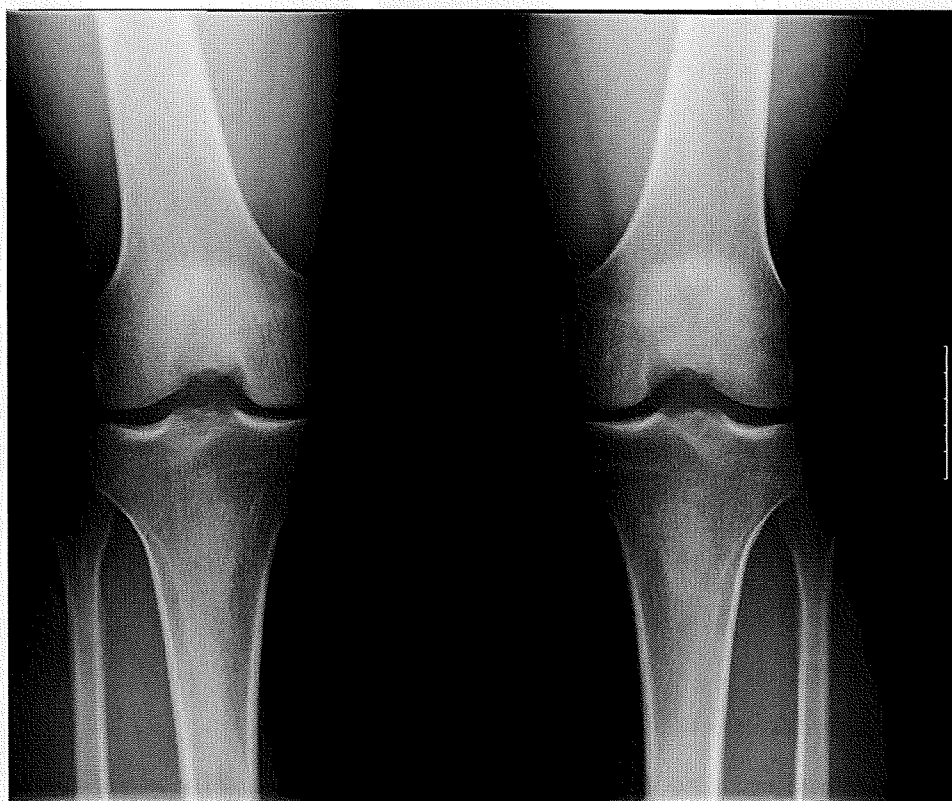
【OSK0007】

Side : **Lt** Age(y.o.) : 43 Sex : Male

Height(cm) : 183 Weight(kg) : 87 BMI : 26

JOA Score : 100 Knee Score : 97 Functional Score : 100 VAS(Gait) : 0

Quad. Muscle Force(Nmm/kg/m) : No data



KL Grade(Rosenberg) : 0

FTA(°) : 172

HKA(°) : 0.37

★Knee Joint Varus Moment(@Initial Contact)(Nmm/kg/m) : 218

【OSK0008】

Side : Rt

Age(y.o.) : 43

Sex : Male

Height(cm) : 183

Weight(kg) : 87

BMI : 26

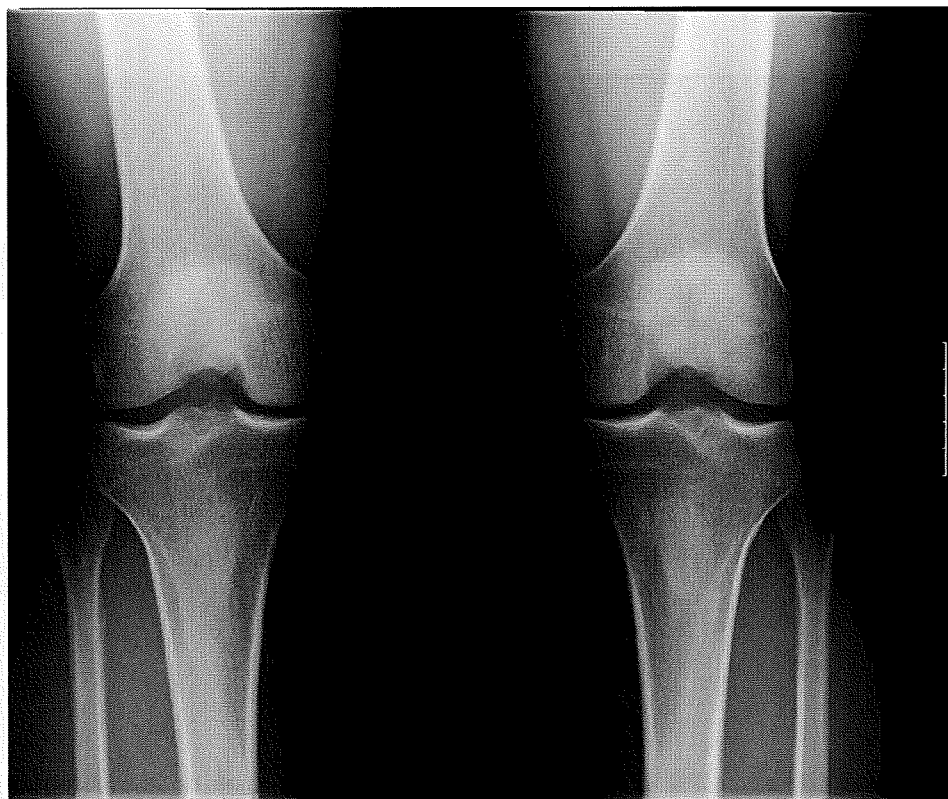
JOA Score : 100

Knee Score : 97

Functional Score : 100

VAS(Gait) : 0

Quad. Muscle Force(Nmm/kg/m) : No data



KL Grade(Rosenberg) : 0

FTA(°) : 175

HKA(°) : 0.99