若年健常女性の内反スラスト判定における 加速度計による定量データと肉眼観察との整合性

Consistency of Accelerometer-based Measurement of Knee Excursion and Visual Observation of Varus Thrust in Young Healthy Women

渡邊 五郎¹⁾ 亀井 里香²⁾ 星 賢治¹⁾ 蒲田 和芳^{1,2)}

GORO WATANABE, MSc, PT¹⁾, RIKI KAMEI, PT²⁾, KENJI HOSHI, PhD, PT¹⁾, KAZUYOSHI GAMADA, PhD, PT^{1,2)}

¹⁾ Graduate School of Medical Technology and Health Welfare Sciences, Hiroshima International University: 555-36
Kurosegakuendai, Higashihiroshima-shi, Hiroshima 739-2695, Japan TEL +81 823-70-4550
E-mail: gamada@hs.hirokoku-u.ac.jp

²⁾ Division of Physical Therapy, Department of Rehabilitation, Faculty of Rehabilitation, Hiroshima International University

Rigakuryoho Kagaku 33(5): 823-828, 2018. Submitted Apr. 23, 2018. Accepted Jun. 25, 2018.

ABSTRACT: [Purpose] The objective of this study was to validate an accelerator-based measurement method of lateral knee excursion during three standing activities. [Participants and Methods] The subjects were nineteen healthy young women. For visual analysis of video images, the presence of varus thrust was identified during three motion tasks: free stepping, stepping with the knee fully extended, and squat. Accelerator-based measurement was also performed to determine lateral knee excursion during the same three tasks. An accelerometer was attached to the head of the fibula and a cut-off value was determined using the receiver operating characteristic (ROC) curve. [Results] During stepping with the knee fully extended, 9 of 19 knees demonstrated varus thrust in visual observation, and 11 of 19 knees demonstrated varus thrust in accelerometer-based measurements. Judgment of varus thrust agreed in 13 of 19 knees. [Conclusion] Determination of varus thrust in healthy young women differed slightly between the accelerometer-based and visual observation methods.

Key words: varus thrust, accelerator, knee osteoarthritis

要旨:〔目的〕内反スラストの判定において、加速度計と肉眼観察との整合性を明らかにすることを目的とした。〔対象と方法〕若年健常女性 19 名を対象とした。自由な足踏み、膝関節完全伸展位での足踏み、スクワットについてビデオ画像上で肉眼的に内反スラストの有無を判定した。加速度計を腓骨頭に貼付して、肉眼観察と同じ 3 動作を行わせ、ROC 曲線より膝関節の外方偏位量のカットオフ値を算出した。〔結果〕膝関節完全伸展位での足踏みにおいて、肉眼観察では 9 名が、加速度計にて 11 名が内反スラストありと判定された。19 名中 13 膝で、肉眼観察と加速度計による判断が一致した。〔結語〕健常若年女性における加速度計と肉眼観察による内反スラストの有無の判断は完全には一致しなかった。

キーワード: 内反スラスト, 加速度計, 変形性膝関節症

¹⁾ 広島国際大学大学院 医療・福祉科学研究科: 広島県東広島市黒瀬学園台 555-36 (〒739-2695) TEL 0823-70-4550

²⁾ 広島国際大学 総合リハビリテーション学部 リハビリテーション学科 理学療法専攻

I. はじめに

変形性膝関節症 (knee osteoarthritis: 以下、膝 OA) は、高齢者の quality of life (QOL) を低下させる主要な要因の一つであり、日本のみならず世界中で罹患者の多い疾患の一つである。日本における 40 歳以上の膝 OA 有病率は、男性 42.0%、女性 61.5% であり、女性の有病率が男性よりも高かったことが報告された¹⁾。日本では、内側型膝 OA が膝 OA 全体に占める割合は約 90% であり²⁾、内側の大腿脛骨関節構成体の破綻に起因する疾患であるといえる。内反スラストは歩行立脚期に膝が外側に膨らんで内反し、遊脚期には内反が消失して元に戻る動きを意味し³⁾、内側型膝 OA 患者に特徴的な所見である。この内反スラストは疾患進行の危険因子の一つであり^{3,4)}、内反スラストの有無により内側型膝 OA の進行のリスクが 4 倍に増加した³⁾。また、内反スラストの存在は、荷重時の痛みや歩行中の膝関節の痛みと関連した³⁾。これらのことから、内反スラストにより膝関節内側構成体に過剰な負荷が加わることが推測される。このため、早期に内反スラストを検出することによって、膝 OA の危険因子に関する今後の研究に貢献できる可能性がある。

内反スラストの有無の判断には肉眼観察に基づく判断が^{3,4)}、定量評価には 3 次元動作解析装置による評価が行われてきた^{5,6)}。肉眼観察は、検者の主観に依存し、定性評価であるという問題がある。一方、3 次元動作解析は、使用する機器が高価であり、また手順が煩雑で臨床で実施し難いという問題が考えられる。近年、従来の歩行分析装置に替わる測定機器として、小型加速度計を用いた先行研究が散見される^{7,8)}。小型加速度計は、肉眼観察では検出不可能な小さな動きにも適用することができる^{9,10)}。このことから、小型加速度計は内反スラストにおける膝関節の外方偏位の程度を定量的に評価し得ると考えられる。しかし、簡便で正確な内反スラストの定量評価方法は明らかにされていない。そこで本研究の目的を、加速度計を用いて内反スラストの定量評価を行い、簡便で正確な内反スラストの定量評価方法を明らかにすることとした。

内反スラストの膝関節外方偏位量は主に体表マーカーによって計測されてきた。小村ら¹¹⁾は、3 次元動作解析を用いて、膝関節外側に貼付した体表マーカーを元に、歩行動作中の膝関節の外方偏位距離を計測した。その結果、若年健常者では 13.6 ± 5.5 mm、高齢健常者では 17.8 ± 6.7 mm、末期膝 OA では 22.1 ± 7.7 mm であった。歩行時の膝関節外方偏位量は、膝関節内反運動に加えて骨盤の側方移動に伴う膝の外方移動の影響を含んでいる可能性が考えられる。一方、3 次元動作解析装置と小型加速度計を用いて運動開始の反応時間を比較した場合、反応時間の測定方法間の信頼性は高かった (mean

ICC = 0.774)¹²⁾。歩行時の複数の小型加速度計から得られた角速度と 3 次元動作解析装置で算出された角速度を比較した場合、重相関係数は 0.98 以上であり、非常に高い決定係数が得られた¹³⁾。これらのことから、小型加速度計は、3 次元動作分析に比べて簡易的に内反スラストにおける膝関節外方偏位量を計測し得ると考えられる。加えて、3 次元動作分析を用いた内反スラストの定量評価と肉眼観察に基づく定性評価の比較において、肉眼観察で内反スラストが認められた者は、内反スラストが認められなかった対象に比べ、より大きなピーク内反角度とより大きな内反角速度を有したことが先行研究で明らかにされた⁴⁾。以上のことから、加速度計を用いて測定した内反スラストの定量評価は肉眼観察に基づく定性評価と一致する可能性があると考えられる。早期に膝 OA の危険因子を発見するための手法を確立することを意図して実施した本研究において、膝 OA は女性に多い疾患であることを踏まえて健常若年女性を対象とした。

本研究の仮説を、健常若年女性において加速度計による内反スラストの有無の判断は肉眼観察に基づく定性評価と一致する、とした。この仮説を検証することによって、若年女性の内反スラストを簡易的に判断できるようになることが期待される。加速度計を用いて内反スラストを定量化することは、内反スラスト有無の判断の基準値を明らかにすることに発展する可能性が考えられる。内反スラストの簡易的な判断は、膝 OA 進行の危険因子の発見につながり、膝 OA 進行予防研究に寄与すると考えられる。

II. 対象と方法

1. 対象

広島国際大学「人を対象とする医学系倫理審査委員会」の承認を得た後に、本研究を開始した (倫 16-28)。対象者を、本学在学中の女子学生とし、ヘルシンキ宣言を遵守して作成された同意書の内容を理解したうえで同意書に署名をしたものとした。包含基準を、20~30 歳の女性、歩行障害や疼痛を有しないこと、全てのプロトコルおよび考えられるリスクを全て理解した者、とした。除外基準を、下肢に手術歴がある者、現在疾患による疼痛を有する者、コミュニケーションに障害がある者、研究内容の理解に問題がある者、とした。これらの選択基準を満たした 20 名 20 膝 (年齢 21.5 ± 0.5 歳、身長 155.7 ± 3.9 cm、体重 49.8 ± 3.9 kg: 平均 $\pm$ 標準偏差) を対象者として取り込んだ。

2. 方法

歩行動作中の内反スラストは、体幹傾斜による代償¹⁴⁾、足部外転¹⁵⁾、歩隔¹⁶⁾、歩行速度^{17,18)}などの膝関節外部内転モーメントに変化を与える歩行のバリエー

ションの影響を受ける可能性が考えられる。これらの影響が入りにくい動作課題で、しかも内反スラスト現象への感度の高い動作課題を設定する必要がある。なお、本研究において内反スラストは、「荷重運動中に急激に内反運動が生じること」と定義し、歩行、スクワット、足踏み、膝関節伸展を意識した足踏みのすべてに共通に起こり得る現象として取り扱う。そこで、スクリーニングとして、スクワット、自由な足踏み、膝関節完全伸展位での足踏みの3つの動作を行わせ、肉眼観察により内反スラストの存在率を比較した(図1)。3つの動作課題は、膝関節伸展位での静的アライメントでは内反位を呈するにもかかわらず、歩行中には内反ではなくむしろ外反傾向を示す女性が存在することから独自に考案したものである。

肉眼観察に基づく内反スラストの有無は、前方から撮影されたビデオ画像(60ps, HDR-PJ40, SONY社製)を用いて判断された。ビデオカメラは、被験者から1mの位置で床から25cmの高さに三脚で固定された。Lo¹⁹⁾の方法を参考にして、整形外科で臨床経験のある理学療法士1名が、①明らかに内反スラストあり(あり)、②内反スラストが少し見られる(少しあり)、③内反スラストなし(なし)、の3段階で判断した。1つ目の動作として、対象者は、両足の内側が接した状態での立位、30°まで膝関節を屈曲し、その後ゆっくりと膝関節を完全伸展させるスクワットを2回実施した。10°屈曲位から完全伸展位にかけて大腿骨内側上顆間の距離が急激に拡大した場合に、内反スラストありと判定した。

自由な足踏みとして、対象者は、メトロノームを用いて1分間に60回のリズムで、計10歩を実施した。足底は地面から5~6cm離れる程度までとした。立脚初

期に膝の外側動揺を呈する場合に内反スラストありとした。膝関節完全伸展位での足踏みとして、対象者は、接地側の立脚相で、少なくとも一瞬は膝関節が完全伸展位になるように意識しつつ、足踏み運動を実施した。その他の条件は「自由な足踏み」と同一とした。立脚初期に膝の外側動揺を呈する場合に内反スラストありとした。

加速度計による計測・分析には、小型3軸加速度変換器(AMA-A-5, 共和電業社製)(定格容量: $\pm 49.03 \text{ m/s}^2$, 定格出力: $2.0 \pm 0.2 \text{ V}$, 周波数 100 Hz, 横感度: 4% rated output 以下)を用いた。動作課題はビデオ撮影時と同一とした。加速度計を対象者の右腓骨頭に、テープとサポーターを用いて固定した^{20,21)}。加速度計の軸方向を、z軸を内外側方向(外側)、x軸を上下方向(頭側)、y軸を前後方向(背側)とした。取得された電圧データを、AD変換器を通じてパソコンに取り込み、保存した。加速度計から得られた電圧データを、

$$[\text{電圧 (V)} \times \text{校正係数 (m/s}^2/\text{V)} = \text{加速度 (m/s}^2)]$$

により加速度に変換した。

その際の校正係数はそれぞれ

$$\text{x 軸: } \{(3-0)/(2.74-1.50)\} \times 9.81 = 23.733871 (23.73) \text{ (m/s}^2/\text{V)}$$

$$\text{y 軸: } \{(3-0)/(2.71-1.50)\} \times 9.81 = 24.322314 (24.32) \text{ (m/s}^2/\text{V)}$$

$$\text{z 軸: } \{(3-0)/(2.72-1.50)\} \times 9.81 = 24.1229508 (24.12) \text{ (m/s}^2/\text{V)}$$

であった。

対象者の静止時加速度の平均を計算し、その値をベースライン値とし、運動中の実測値からベースライン値を引いて加速度を算出した。x軸を時間、y軸をz軸方向の加速度としたグラフにおいて、スクワットの2回目、足踏みの2歩目の立脚初期に一致して内反スラストと考えられるスパイクを同定した。最高ピークと最低ピークの間を表計算ソフト(Microsoft Excel, Microsoft社製)上で積分した。加速度を2度積分して、偏位を算出した。

統計解析には統計ソフト(SPSS Statistics version 21, IBM社製)を使用した。独立変数を加速度計で算出した外方偏位量、従属変数を肉眼観察による内反スラストの有無とした receiver operating characteristic curve (以下, ROC 曲線)を作成し、カットオフ値を Youden index にて求めた。

III. 結 果

加速度計データ分析において、明らかなスパイクを同定することが困難であった1膝を除外し、分析対象を19膝とした。

課題動作中の肉眼観察に基づく内反スラストが認められた対象は、スクワットで19膝中、①明らかに内反スラストあり0膝、②内反スラストが少し見られる0膝、

図1 課題動作

課題動作をスクワット、自由な足踏み、膝関節完全伸展位での足踏みの3つとした。A. スクワットでは、膝関節約10度屈曲位(A-1)から完全伸展位(A-2)にかけて大腿骨内側上顆間の距離が急激に拡大した場合に、内反スラストありと判定した。B. 自由な足踏み、膝関節完全伸展位での足踏みでは、立脚初期に膝関節の外側動揺を呈する場合に、内反スラストありと判定した。

表1 肉眼観察による内反スラストの判定結果

		① あり	② 少しあり	③ なし
膝関節完全伸展 の足踏み	〔膝〕	3	6	10
自由な足踏み	〔膝〕	0	2	17
スクワット	〔膝〕	0	0	19

③内反スラストなし 19 膝, 自由な足踏みでは, ① 0 膝, ② 2 膝, ③ 17 膝, 膝関節完全伸展位での足踏みでは① 3 膝, ② 6 膝, ③ 10 膝だった (表 1)。

膝関節完全伸展位を指示した足踏みで, 加速度計による膝の外方偏位量を独立変数に, 肉眼観察による内反スラストの有無を従属変数とし, ROC 曲線を作成した。曲線下面積が 0.500 となる点線から最も離れた座標をカットオフ値とした。その結果, カットオフ値は 2.25 cm (感度 0.778, 特異度 0.60) であった (図 2, 表 2)。2.25 cm 以上の外方偏位があった膝を内反スラストありとすると, 19 膝中 11 膝で内反スラストありと判断された。スクワット, 自由な足踏みカットオフ値を定めることができず, 内反スラストの判断は不可能であった。

今回, 膝関節完全伸展位での足踏みによる肉眼観察では 9/19 膝, 加速度計では 11/19 膝で内反スラストがあると判断された。加速度計で内反スラストありと判定された 11 膝のうち, 肉眼観察で内反スラストありと判定された膝は 7/11 膝 (63.6%) だった。逆に, 肉眼観察で内反スラストありと判断された 9 膝のうち, 外方偏位が 2.25 cm を超えなかったのは 2/9 膝 (22.2%) だった。肉眼観察と加速度計の双方で内反スラスト有無の判断が一致したのは, 13/19 膝 (68.4%) であった (表 3)。

IV. 考 察

本研究の仮説は, 健常若年女性において加速度計による内反スラストの有無の判断は肉眼観察に基づく定性的評価と一致する, であった。肉眼観察による評価では, スクワット, 自由な足踏み, 膝関節を完全伸展位での足踏みの 3 動作のうち, 膝関節完全伸展位での足踏みで内反スラストを抽出することができた。加速度計による内反スラストのカットオフ値は 2.25 cm (感度 0.778, 特異度 0.600) であった。肉眼観察と加速度計との整合性に関する主要な所見として, 肉眼観察と加速度計の双方で内反スラスト有無の判断が一致したのは, 13/19 膝 (68.4%) であった。

内反スラストにおける膝関節の外方偏位の定量化は, 様々な方法にて試みられてきた。床反力計と赤外線ビデオを用いた研究では, 外方偏位量は進行期 OA 群で 1.85 ± 0.56 cm, 末期 OA 群では 2.21 ± 0.77 cm であった²²⁾。本研究の結果では, 外方偏位量のカットオフ値

図2 ROC 曲線

膝関節の外方偏位量を独立変数に, 肉眼観察による内反スラストの有無を従属変数とし, ROC 曲線を作成した。曲線下面積が 0.500 となる点線から最も離れた座標をカットオフ値とした。結果, 外方偏位量 2.25 cm がカットオフ値に採用され, 感度は 0.778, 特異度は 0.600 であった。

表2 ROC 曲線の座標

外方偏位量 (cm)	感度	1 - 特異度
0.20	1.000	1.000
1.30	1.000	0.900
1.50	0.889	0.900
1.65	0.889	0.800
1.85	0.889	0.700
2.25	0.778	0.400
2.75	0.667	0.400
3.15	0.556	0.300
4.15	0.444	0.300
5.50	0.222	0.200
6.50	0.000	0.200
7.50	0.000	0.100
9.00	0.000	0.000

表3 分割表

	肉眼観察による内反スラスト 有無の判断	
	あり	なし
カットオフ値以上	7	4
カットオフ値未満	2	6

は2.25 cmであった。しかし、本研究とは使用している機器、測定方法、対象者の違いがあるため、直接比較することは難しい。

先行研究では歩行動作を用いて内反スラストを同定していたのに対し、本研究ではスクワット、自由な足踏み、膝関節完全伸展位での足踏み動作を用いて内反スラストを同定した。膝OA患者において、歩行時の内反スラストの存在率は、Changら³⁾の研究では17%、Loら¹⁹⁾の研究では30%のみであった。歩行動作は体幹の側屈¹⁴⁾、足部の外転¹⁵⁾、歩隔¹⁶⁾など様々な代償動作を包含し、歩行速度の変化¹⁷⁾の影響を受ける可能性がある。したがって、意識下・無意識下にかかわらず、歩行動作での内反スラストの判断では、様々な代償動作や歩行速度の変化が内反スラストの程度に影響する可能性を否定できない。本研究においては、課題動作において体幹の代償運動の影響を排除するため、体幹の傾斜を排除した膝関節完全伸展位での足踏み動作を用いた。これにより、スクワットと自由な足踏み動作より多くの内反スラストを抽出することができた。以上のことから、歩行による観察よりも膝関節の完全伸展位を指示された足踏み動作の方が、より早期に、またより潜在的な膝の異常キネマティクスを抽出することができる可能性がある。

本研究における内的妥当性については、肉眼観察による内反スラスト判定は、加速度データ収集と条件を統一した動作にて行い、動作による違いを可能な限り排除した。加えて、肉眼観察と加速度データ収集を同じ日に行わず、課題動作に対する慣れを排除した。加速度計データの分析において、2歩目の足踏みの際に起こるピークを積分するよう条件を統一した。本研究の外的妥当性については、膝関節に変形のない若年健常女性に適用される。

本研究には、いくつかの限界がある。1つ目として、スキンモーションアーチファクトが挙げられる。本研究では加速度計を右下腿の腓骨頭に貼付した。動作時に皮膚の移動や皮下脂肪の変形による微細な動きがあることは否定できない。しかし、本研究では1名の検者が全参加者に対して同様の方法で固定しており、結果に与える影響は小さいと考えられる。2つ目として、動作による軸間の干渉（クロストーク）が挙げられる。下腿の回旋や足踏み動作中の膝関節伸展方向が含まれる可能性がある。しかし、加速度計の固定は膝関節伸展位で実施されたため、膝関節完全伸展位での足踏み動作に及ぼす影響は小さいと考えられる。

本研究の結論を、健常若年女性の膝関節完全伸展位での足踏み動作において、1個の加速度計のみによる内反スラストの有無の判断は肉眼的判断と完全には一致しないとした。内反スラスト有無の判断は、臨床的に肉眼観察により定性的に判断されることが多い。一方、3次元動作解析装置を用いた内反スラスト評価は、煩雑な手順

と高価な機器を必要とし、臨床的に定量評価を実施することは困難である。本研究の結果は、簡便で臨床に適用し得る内反スラストの定量評価の困難さを示した。今後、より精密な体表マーカーを用いないキネマティクス解析方法と加速度計との間で外方偏位量の比較を行い、より正確な加速度計を用いた内反スラスト有無の判断基準を確立する必要があると考える。

利益相反 本研究の実施に当たり、開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) Yoshimura N, Muraki S, Oka H, et al.: Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis, and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study. *J Bone Miner Metab*, 2009, 27: 620-628.
- 2) 腰野富久: 膝診療マニュアル. 医歯薬出版, 東京, 2001, pp140-159.
- 3) Chang A, Hayes K, Dunlop D, et al.: Thrust during ambulation and the progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*, 2004, 50: 3897-3903.
- 4) Chang AH, Chmiel JS, Moision KC, et al.: Varus thrust and knee frontal plane dynamic motion in persons with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*, 2013, 21: 1668-1673.
- 5) Mahmoudian A, van Dieen JH, Bruijn SM, et al.: Varus thrust in women with early medial knee osteoarthritis and its relation with the external knee adduction moment. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2016, 39: 109-114.
- 6) Sosdian L, Hinman RS, Wrigley TV, et al.: Quantifying varus and valgus thrust in individuals with severe knee osteoarthritis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2016, 39: 44-51.
- 7) Kavanagh JJ, Menz HB: Accelerometry: a technique for quantifying movement patterns during walking. *Gait Posture*, 2008, 28: 1-15.
- 8) Craig JJ, Bruetsch A, Huisinga JM: Relationship between trunk and foot accelerations during walking in healthy adults. *Gait Posture*, 2016, 49: 25-29.
- 9) 田中尚文, 園田 茂, 村岡慶裕・他: 小型加速度計による歩行分析の再現性および妥当性の検討. *リハビリテーション医学*, 1996, 33: 549-553.
- 10) 堀水 湧, 木元 稔, 照井佳乃・他: 加速度から算出した身体重心変位の妥当性の検討—3次元動作解析装置との比較—. *理学療法科学*, 2016, 31: 591-596.
- 11) 小村 孝, 津村暢宏, 黒坂昌弘: 内側型変形性膝関節症患者の歩行分析に関する研究. *神戸大学医学部紀要*, 2001, 61: 89-94.
- 12) Chung PY, Ng GY: Comparison between an accelerometer and a three-dimensional motion analysis system for the detection of movement. *Physiotherapy*, 2012, 98: 256-259.
- 13) Mayagoitia RE, Nene AV, Veltink PH: Accelerometer and rate gyroscope measurement of kinematics: an inexpensive alternative to optical motion analysis systems. *J Biomech*, 2002, 35: 537-542.

- 14) Simic M, Hunt MA, Bennell KL, et al.: Trunk lean gait modification and knee joint load in people with medial knee osteoarthritis: the effect of varying trunk lean angles. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 2012, 64: 1545-1553.
- 15) Guo M, Axe MJ, Manal K: The influence of foot progression angle on the knee adduction moment during walking and stair climbing in pain free individuals with knee osteoarthritis. *Gait Posture*, 2007, 26: 436-441.
- 16) Fregly BJ, Reinbolt JA, Chmielewski TL: Evaluation of a patient-specific cost function to predict the influence of foot path on the knee adduction torque during gait. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2008, 11: 63-71.
- 17) Mündermann A, Dyrby CO, Hurwitz DE, et al.: Potential strategies to reduce medial compartment loading in patients with knee osteoarthritis of varying severity: reduced walking speed. *Arthritis Rheum*, 2004, 50: 1172-1178.
- 18) McClelland JA, Webster KE, Feller JA, et al.: Knee kinetics during walking at different speeds in people who have undergone total knee replacement. *Gait Posture*, 2010, 32: 205-210.
- 19) Lo GH, Harvey WF, McAlindon TE: Associations of varus thrust and alignment with pain in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*, 2012, 64: 2252-2259.
- 20) 桜井進一, 坂本雅昭, 中澤理恵・他: 小型3軸加速度計を用いた歩行時下腿運動分析の再現性の検討. *理学療法科学*, 2010, 25: 7-12.
- 21) 木藤伸宏, 島澤真一, 弓削千文・他: 加速度センサを用いた変形性膝関節症の歩行時下腿運動の解析. *理学療法科学*, 2004, 31: 86-94.
- 22) 井上宣克, 穴戸孝明, 上野竜一・他: 超小型加速度センサーを用いた内側型変形性膝関節症の評価. *東京醫科大學雑誌*, 2007, 65: 263-269.