

氏名・(本籍)	塚本 泰朗 (秋田県)
専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	医博甲第 1046 号
学位授与の日付	令和 3 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	医学系研究科医学専攻
学位論文題名	<b>Diagnostic Accuracy of the Mobile Assessment of Varus Thrust using 9-axis Inertial Measurement Units</b> (9 軸慣性センサを用いた Varus Thrust の動的評価の診断精度)

論文審査委員	(主査) 橋本 学 教授
	(副査) 中永 士師明 教授      新山 幸俊 教授

## 学 位 論 文 内 容 要 旨

### 論 文 題 目

Diagnostic Accuracy of the Mobile Assessment of Varus Thrust using 9-axis Inertial Measurement Units  
(9 軸慣性センサを用いた Varus Thrust の動的評価の診断精度)

申請者氏名 塚本 泰朗

### 研 究 目 的

Varus Thrust は歩行時の立脚初期に膝関節が急激に外側へ動揺する現象であり、変形性膝関節症における代表的な膝異常運動のひとつである。過去の研究では変形性膝関節症の X 線学的重症度、病状進行、臨床症状との関連が報告されている。元来 Varus Thrust の評価は視認による有り/無しの定性評価であるため、有病率は報告により異なる。また、Varus Thrust の有無の判断に迷う症例も多く、視認できる以前の Varus Thrust を検出することができれば、リハビリテーションなどの早期介入に有用であると考えられる。光学式モーションキャプチャを用いた 3 次元動作解析による Varus Thrust の定量評価の試みがなされ、角度や内反角速度を用いた高精度な定量化可能となってきた。しかし、検査機器の大型、高額で検査環境の制限が大きい等の問題があり、臨床応用には至っていない。一方、9 軸慣性センサは小型かつ安価で、計測環境の制限も少ないため臨床応用の発展が期待されている。

そこで本研究の目的は、センサを用いた Varus Thrust の動的評価手法の提案と、計測した膝内反角速度のカットオフ値を算出することである。

### 研 究 方 法

2017 年 5 月から 2018 年 3 月までに秋田大学附属病院を受診し、事前に書面での同意を得られた内側型変形性膝関節症患者 49 名 80 膝を対象とした。被検者は両大腿、下腿前面および仙骨に計 5 個の 9 軸慣性センサ (IMU-Z2, ZMP) をマジックテープで装着した。快適歩行での 10m 歩行テストを実施した。一名の検者によって視認上の Varus Thrust の定性評価を行った。定性評価手法としては Chang らの報告に準じて Likert scale を用いた。とても自信のある Varus Thrust 有り/無し群をそれぞれ Present group、absent group とした。それ以外の曖昧な Varus thrust は Ambiguous group とし、3 群に分類した。

また、歩行テストにて得られたデータから拡張カルマンフィルタおよびセンサフュージョン技術を用いて膝立脚期の最大膝内反角度を算出した。膝内反角速度は推定した膝角度の微分演算により算出した。

平均最大内反角度および最大内反角速度について ANOVA 解析を用いて 3 群間で比較した。また、視認上曖昧なものを含めた visualized Varus Thrust と最大内反角速度との ROC 曲線を描出した。

### 研 究 成 績

Present group は 23 膝、Ambiguous group は 17 膝、Absent group が 40 膝に分けられた。患者背景に各群間に有意差は認めなかった。視認可能な Varus Thrust は 28%であり、視認上曖昧な症例も含めると 50%にも及んだ。平均最大内反角速度は 3 群間でそれぞれ有意差を認めた (present,  $47.7 \pm 8.2$  degree/sec, ambiguous,  $34.1 \pm 10.5$  degree/sec, and absent,  $28.1 \pm 8.3$  degree/sec, respectively,  $p = 0.000$ )。一方、最大内反角度に関して、Present group は Absent group より有意に大きかったが、Ambiguous group とは有意差を認めなかった。Visualized varus thrust における最大内反角速度のカットオフ値は  $28.1^\circ / \text{sec}$  であり、感度 0.957、特異度 0.579 であった。

### 結 論

9 軸慣性センサを用いた Varus Thrust の動的評価における診断精度を調査した。我々が提案した手法では、歩行時最大内反角速度  $28.1^\circ / \text{sec}$  未満は Varus Thrust の除外診断に有用であり、変形性膝関節症における動的評価のスクリーニングテストとして臨床応用が期待される。今後は、さらに小型かつ精度の高い計測機器の開発を進めていく必要がある。

## 学位（博士一甲）論文審査結果の要旨

主査：橋本 学

申請者：塚本 泰朗

論文題名：Diagnostic Accuracy of the mobile Assessment of Varus Thrust Using 9-axis Inertial Measurement Units

(9 軸慣性センサを用いた Varus Thrust の動的評価の診断精度)

### 要旨

著者の研究は論文内容要旨に示すように、変形性膝関節症の発症および進行に深く関連している Varus Thrust の早期検出のために、9 軸慣性センサによる 3 次元膝関節角度推定手法を構築し、実際の患者の歩行時の運動学的変化を算出することで、Varus Thrust の定量化と早期変形性膝関節症との関連を評価したものである。Varus Thrust の定量化手法は主に光学式モーションキャプチャーが用いられているが、大型かつ高額で測定環境が限定されるため、臨床応用できずにいた。著者らは、新たに 9 軸慣性センサを用いた 3 次元膝動作解析手法を構築し、その動作解析にて Varus Thrust の定量評価およびその早期検出の有用性を検討した。

本研究の斬新さ、重要性、実験方法の正確性、表現の明瞭さは以下のとおりである。

#### 1) 斬新さ

これまでの Varus Thrust を角度で定量化する問題点としては角度推定精度は高いが、Varus Thrust の有無の判断はあくまでも視認による定性評価であることであった。9 軸慣性センサは小型かつ安価で測定環境の制限が少ない動作解析装置である。近年センサ自体の姿勢推定技術の進歩により臨床応用可能な膝動作解析として発展してきている。本研究は、初めて 9 軸センサを用いて Varus Thrust の定量評価し、視認できない潜在的な Varus Thrust があることを明らかにしたことである。

#### 2) 重要性

我が国における変形性膝関節症の有病者数は約 2530 万人、有症状者数は 800 万人とされ

ている。変形性膝関節症は膝の痛みや関節の変形から日常生活動作の制限や生活の質の低下をきたし、要支援・要介護の原因疾患として重要である。さらに、年間医療費は 8000 億円にもものぼるとされる。健康寿命の延伸や医療費削減の観点から変形性膝関節症の早期診断、早期治療は非常に重要である。Varus Thrust は変形性膝関節症の発症および進行のリスクであり、疼痛の強さとも関連しているため、動作解析によるその病態生理の解明が行われている。本研究では、9 軸慣性センサによる膝動作解析は簡便に計測可能で、Varus Thrust の除外診断に有用であること、早期変形性膝関節症の段階でも約半数に潜在的 varus thrust を生じていることを明らかにした。Varus Thrust の早期検出は Varus Thrust の低減を目的としたリハビリテーションや装具療法による早期介入を可能とし、変形性膝関節症の二次予防として臨床非常に重要である。

#### 3) 実験方法の正確性

先行研究において、新たに構築した 9 軸センサを用いた膝関節角度推定手法での算出値と、光学式モーションキャプチャーを用いた膝関節角度推定法での計測値を対比させ、相関係数・二乗平均誤差を算出することで、我々の手法の正確性の適切な検証が行われた。また、各評価項目の測定を同一検者で行い、測定に関する検者間のバイアスを除去している。本研究ではこれらの検証された膝関節角度推定法を用いて算出された値が用いられているため、実際の膝関節の動きを近似した値が算出されたことが裏付けられている。さらに、全ての結果は統計学的検討が加えられており、実験方法は客観的で正確性がある。

#### 4) 表現の明瞭さ

本研究の持つ意味、解析に用いた 9 軸慣性センサによる膝関節角度推定手法についての概要、各種計測方法、評価項目、得られた結果、考察は簡潔かつ明瞭に記載されている。

以上述べたように、本論文は学位を授与するに十分値する研究と判定する。