

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500586

研究課題名(和文) 膝関節回旋角度計の開発—膝前十字靭帯損傷による回旋不安定性の精密計測—

研究課題名(英文) Development of knee joint rotation angle meter-precision measurement of a rotation instability due to knee anterior cruciate ligament injury-

研究代表者

木村 浩彰 (Kimura, Hiroaki)

広島大学・大学病院・教授

研究者番号：60363074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：膝前十字靭帯損傷後に膝関節内外旋不安定性を生じるため、三次元加速度センサーを健常者の大腿部と下腿部に装着し、Biodexに計測する下肢を固定し健常者6名の膝内外反角度を測定し、内外反角度は平均30°であった。研究倫理申請を行い膝前十字靭帯損傷患者に測定を試みたが疼痛から測定値が不定となり中止したが、膝関節回旋を強制するトルクを一定に保ち計測を続けている。

研究成果の概要(英文)：To produce the knee joint rotation instability after knee anterior cruciate ligament injury, and two three-dimensional acceleration sensors equipped both to the thigh and lower leg of a healthy person, knee rotation angle of the healthy six lower limbs were measured under control of the Biodex, total rotation angle was an average 30°. Although attempts to measure a rotation angle of the anterior cruciate ligament injury patients, we stopped to measure due to pain and we continue to keep measuring the knee joint rotation under constant torque.

研究分野：運動分析、運動療法

キーワード：三次元加速度計 膝関節回旋角度 回旋不安定性 前十字靭帯損傷

## 様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

膝前十字靭帯損傷はスポーツ外傷で最も多く、日本では年間 2~3 万件発症する。前十字靭帯損傷により膝関節の回旋不安定性を生じるが、前後方向の不安定しか評価できず靭帯損傷による膝関節機能を定量的に評価することは困難であった。

これらの問題を解決するため膝回旋角度測定装置を考案し特許を取得した(特許第 5061281 号：平成 24 年登録)。特許取得した成果を現実化するため研究に着手した。

### 2. 研究の目的

膝前十字靭帯損傷における膝関節回旋不安定性を精密に測定できる回旋角度計を完成させ、臨床応用する。

### 3. 研究の方法

回旋方向の角度を測定するため、(株)ジースポートと共同で医療用の三次元加速度計を開発した(図 1.)。

図 1. 三次元加速度計 Pocket IMU2 重量 50g



通常加速度計は地磁気を基準にして演算を行うが、病院内の測定環境は磁場が乱れているので敢えて地磁気センサーを除去した。大きさ縦 4.5cm、横 4cm、高さ 3cm で USB ポートと Bluetooth を持ち 17 個まで連結できる。センサーは 0.5 度の角度分解能を持ち、Windows7 で動作する専用ソフトで稼動する。センサーをベルトで大腿部と下腿部に固定して測定すると、特に大腿部で筋肉のずれを生じて最大 12 度ずれることが分かった。これに対して超音波エコーで骨形態を描出し、測定時の三次元加速度計の位置決めを行い、膝関節回旋に伴うずれを補正する方法を考案した。超音波エコーは整形外科専用とし、GE 社製 LOGIQ E を採用した。まず健常者 6 名(男性 3 名、女性 3 名・平均年齢 21.3 歳)に測定を行った。大腿部と下腿部にそれぞれ三次元加速度計を設置し、Biodex 機器に測定下肢を固定した。Biodex は膝関節回旋トルクモーターとして使用した。回旋速度は 5deg/秒、回旋トルクは 7Nm とした。膝関節 0 度、30 度、45 度、90 度屈曲位で足関節を他動的に最大内旋・最大外旋し回旋角度を測定した(図 2.)。

図 2-1. 左下肢を Biodex 機器に固定し、大腿部と下腿部に三次元加速度計を設置した状態

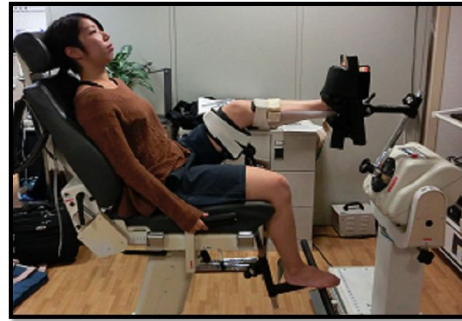
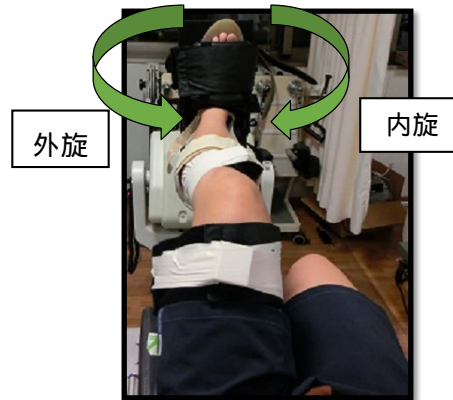
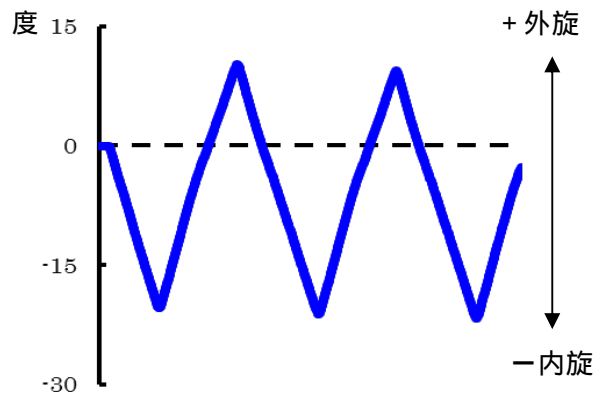


図 2-2. 患者から見た三次元加速度計の設置方法



次に超音波エコーにより三次元加速度計のずれを計測した。特に大腿部は筋肉が厚く、他動的な膝関節回旋によって検査開始時と終了時に大きくずれを生じることが分かった。角度として 8~12 度ずれを生じた。次に最大回旋角度を測定した。健常者であれば最大内旋および最大外旋しても特に問題なく、健常者平均で内外旋の総和は平均 43.1 度であった(図 3.)。

図 3. 膝関節回旋角度測定結果



健常者の測定を繰り返し、 $ICC(1,1)=0.94$  で三次元加速度計による膝回旋角度測定の再現性は高いことが示された。次に膝全従事人体損傷患者の膝関節回旋角度を測定した(図 4.)。

図 4 . 膝屈曲 30 ° と 90 ° における膝前十字靭帯損傷側 ( 受傷側 ) と健常側の最大回旋角度

	受傷側		健常側	
	30 °	90 °	30 °	90 °
膝屈曲角	30 °	90 °	30 °	90 °
dial test	+	-	-	-
最大回旋角	53.3 ± 3.6	24. ± 2.1	28.4 ± 1.7	28.7 ± 2.7

受傷側は膝屈曲 30 ° で最大回旋角度が有意に増大し、膝関節回旋不安定性を示した。しかし、膝前十字靭帯損傷患者に対して最大内旋または外旋を行うと疼痛を生じるため検査を遂行できない例もあった。また、疼痛の程度も検査時や患者毎に異なり、検査値の不安定性が露呈した。

回旋トルクを一定とすることで検査時の疼痛を軽減できると考え、Biodex 装置の機能を利用し検査を再開した。しかし検査による疼痛とデータの不安定性は払拭できなかった。

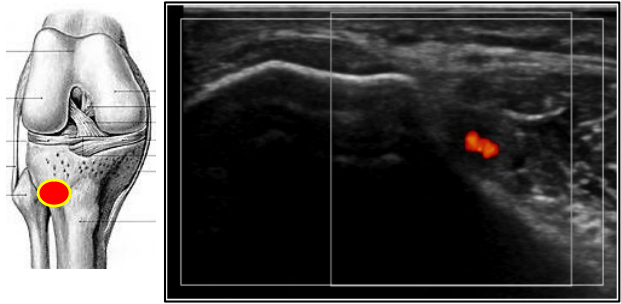
研究方法を変えて動的な回旋不安定性にも着目した。大腿部と下腿部にベルトで三次元加速度計を設置し歩行からジャンプ動作を行ったが、三次元加速度計の感度が良すぎて何を図っているか明確にできなかった ( ノイズかどうか弁別できなかった )。膝関節の自由度を制限し、装具装着下で三次元加速度計の動きを解析する方法を考案し、現在進行中である。

超音波エコーにより骨形態を描出し、これを目印に下肢表面に設置したマーカの角度を測定することは可能と思われた ( 図 5 . )

図 5 . 膝関節回旋角度を測定中に骨エコー像を描出している様子。骨は超音波を反射するので骨表面しか描出できない。骨形状や伴奏する血管 ( 図 6 ) を目印にして、検査で膝関節を回旋させることによる三次元加速度計の位置変異を是正することができる。



図 6 . 脛骨前面の血管を目印に骨表面を超音波エコーで描出した像。血管が綺麗に描出できている。



現状では検査前の三次元加速度計と骨の相対的な位置関係を画像に撮り、膝関節を回旋させるにつれずれを生じるので、徒手で元位置に復帰させる。将来的に画像処理やアルゴリズムの構築により、自動的に検査前の位置に戻して測定角度のずれを補正することも可能と思われた。

#### 4 . 研究成果

Bidex 装置に健常者 6 名の下肢を固定し、最大内旋 最大外旋とすることで膝関節回旋角度を測定した。平均 43.1 度でばらつきが大きかった。

膝前十字靭帯損傷患者 6 名に対して膝関節屈曲 30 ° と 90 ° で受傷側と健常側の比較を行った。膝前十字靭帯損傷側は 30 ° で有意に不安定性を認めた。ただし検査中の疼痛により検査を中止する例が多発し、データ採取が困難となった。

装具装着し実際に運動する際の関節角度測定を試みたが、計測データとアーチファクトが弁別できず、より膝関節の自由度を減少させる方法が望ましいと考えた。

#### 5 . 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 2 件 )

1 . 江口明生、出家正隆、越智光夫：膝関節・腰部：スポーツ外傷・障害の画像評価 ( MRI、MDCT )。臨床スポーツ医学 31 ( 4 ) : 360-363、査読有 2014 .

2 . 平田和彦、木村浩彰：膝前十字靭帯再建後の固有感覚回復に関する検討：重束再建、2 重束再建、靭帯補強術後 1 年間の比較。日本臨床スポーツ医学会誌 21 ( 4 ) : 5185-5185、査読有 2013 .

[ 学会発表 ] ( 計 3 件 )

1 . Orita N, Kimura H. : Assessment of knee rotational angle with a new three-dimensional protractor. WCPT congress 2013 Taiwan

2 . 折田直哉、木村浩彰：新型三次元角度計

を使用した膝関節回旋角度測定の検討.  
48<sup>th</sup> Congress of the JPTA 2013年愛知  
3. 折田直哉、木村浩彰：三次元角度計を用  
いた膝関節回旋角度測定の検討.第35回中国  
四国リハビリテーション医学研究会 2012年島根

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

木村 浩彰 (KIMURA HIROAKI)

広島大学・病院・教授

研究者番号：60363074

### (2)研究分担者

出家 正隆 (DEIE MASATAKA)

広島大学医歯薬保健学研究院・教授

研究者番号：30363063