

平成 22 年 6 月 25 日現在

研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2007 年度～2009 年度
 課題番号： 19500554
 研究課題名 (和文) 膝関節 3 次元動作解析システムの確立と前十字靭帯損傷膝に対する応用
 研究課題名 (英文) Establishment of three-dimensional kinematic analysis system of the knee and its application to the anterior cruciate ligament-injured knee
 研究代表者
 吉矢 晋一 (YOSHIYA SHINICHI)
 兵庫医科大学・医学部・教授
 研究者番号： 00201070

研究成果の概要 (和文) : 代表的なスポーツ外傷の一つである膝前十字靭帯損傷において、スポーツ活動時に問題となる関節の不安定性を評価する計測システムを構築することを目的に研究を行った。当初はまず、3 軸の複合慣性センサを用い、関節運動の 3 次元的な解析を行うための基礎的研究を行った。その後、この解析システムを用いて動的不安定性の指標となる亜脱臼・整復現象(pivot shift)の評価を行い、計測の有効性・実用性を確認し得た。

研究成果の概要 (英文) : The purpose of this study was to establish a three-dimensional measurement system for quantitative analysis of the dynamic instability occurring in the anterior cruciate ligament-injured knee. Subsequent to the initial basic study attempting to formulate the analytical method, the measurement system was applied to the patient with anterior cruciate ligament injury. Through the latter application study, feasibility of the proposed system has been confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
2009 年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：「健康・スポーツ科学」・「スポーツ科学」

キーワード：

(1) 前十字靭帯	(2) 関節動作解析	(3) 3次元センサ
(4) リハビリテーション	(5) 靭帯再建手術	(6) 治療成績評価

1. 研究開始当初の背景

(1) 膝前十字靭帯 (以下 ACL) 損傷は、スポーツ選手に生じる外傷のなかで、最も多いも

のの一つである。スポーツ継続のためには手術が原則であり、その場合スポーツ復帰に 6 ヶ月以上の長期を要する、という点で選手生

命を左右しかねない大きな問題である。また我が国では本損傷に対し年間約 15,000 件の手術が行われていると想定されており、手術が 2-4 週の入院・長期に及ぶリハビリテーションなど医療経済上の問題でもある。

(2) この ACL 損傷には、直接のコンタクトでの外力をうける接触型と急停止・ジャンプの着地などの際に生じる非接触型の 2 つのタイプがあり、頻度は後者の方が高い。損傷を予防するために停止や着地動作の改善などからなる訓練プログラムも提唱されているが、未だ確かなものはない。損傷による膝不安定性のある選手に対する、リハビリテーションも試みられているが、活動時の不安定感を改善させる有効なリハビリテーション方法は、確立されていない。

従って前述したごとく、スポーツ復帰のためには、原則として手術（自家腱の移植による靭帯再建術）が行われる。この手術の成績は、過去の基礎・臨床研究の結果、改善しており、80-90%の例で、術後のスポーツ復帰が可能となっている。しかし、再建された靭帯は 100%元通りの機能を持つものではなく、復帰はできたものの活動時の不安定感を自覚するものも多い。

(3) こういった治療上の課題を解決するためには、正確な膝関節の動作解析を用いた治療成績の評価が必要である。現在、ACL 損傷や再建膝に対し、靭帯機能の評価法としては、単純な(2 次元的な)前後方向の緩みのみが対象となっており、より活動時の状況にマッチした 3 次元かつ、動的な関節不安定性の評価法は確立されていない。

(4) 近年国内外で、膝関節動作解析に関する研究が我々のものも含め報告されるようになってきているが、実際の診療、スポーツ現場で応用できる評価システムを確立するためには、なお課題が残っている。

2. 研究の目的

(1) 三次元動作解析用のセンサーを用いて ACL 損傷に伴う不安定性のある膝で活動時に問題となる急な関節亜脱臼・整復現象 (pivot shift) を定量的に解析するシステムを構築する。

(2) 構築された計測システムを ACL 機能不全の不安定性のある膝に対し適用し、動作解析を行う。そしてその計測結果を解析し、正常膝における結果との間で比較検討する。

(3) 上記の(1)、(2)の研究を通して、提案計測システムの正確性や再現性の検討を行い、その実用性や有効性について評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 3 軸の加速度・角速度・地磁気を測定できる複合慣性センサ (図 1) を使用する。



図 1：使用したセンサの外観

計測においては、バンドタイプの装具を作成してセンサを被験者の大腿と下腿に固定し、次に解剖学的特徴点（骨の突起など）についての校正を光学カメラにて行う (図 2)。



図 2：センサの大腿・下腿への装着

(2) センサを設置した状態で関節の運動を行わせ、膝関節の大腿骨・脛骨間の相対的運動を計測し、屈伸・内外反・内外旋角度と加速度を算出する。対象とした関節運動は、ACL 損傷膝に出現する、屈伸に伴う急激な亜脱臼・整復 (pivot shift といわれる) 現象である。

(3) 取得データの解析においては、周波数フィルタにより関節の屈伸運動と pivot shift に伴う急激な動きを分離した後、各々の要素に対し解析を行う。

(4) Pivot shift 現象の定量化においては、その現象に際し大腿骨・脛骨間に生じる前後方向の加速度を指標とする。

(5) 本解析システムを ACL 損傷膝および正常膝に適応し、計測・計算結果の再現性・正確性を検討し、その有効性・実用性を証明する。

4. 研究成果

(1) 研究初年度では、センサの使用法や計算

方法についての検討を行った。その結果、取得データを高周波・低周波成分に分けて解析することにより、このシステムを用いて、pivot shift による関節の動きをその間の加速度として、算出・評価できた (図 3、4)。

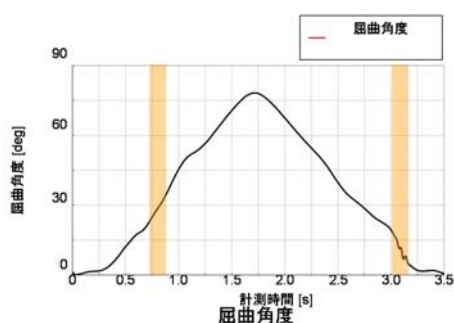


図 3：計測データ中の屈伸運動成分

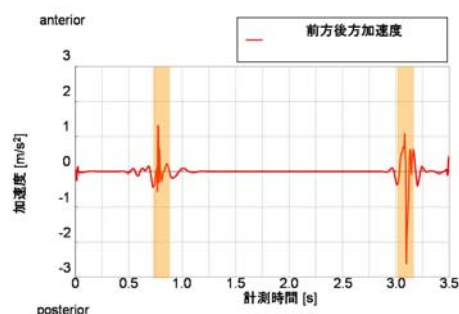


図 4：計測データ中の加速度成分

(2) 2 年目以降は、この計測システムを ACL 損傷膝患者に適用し、pivot shift 現象の解析を行い、計測・計算法の検証と改善を行った。

(3) 得られた結果を正常例での解析結果と比較検討した。その結果、本システムを用いて pivot shift における大腿骨・脛骨間の動きの加速度を測定・算出できること、また正常例ではこの動きは認められないことを明らかにでき、臨床における本計測システムの意義を証明し得た。

(4) 上記の成果に加え、この計測システムを関節における 3 次元的動作(屈伸・内外旋・内外反など)解析に適用するための基礎的研究を行った。その結果、歩行や階段昇降などの動作について、センサを用いた 3 次元動作解析のシステムを提案することができた。

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 S. Kobashi, K. Kawano, Y. Tsumori, S. Yoshiya, Y. Hata, Wearable Joint Kinematic Monitoring System Using Inertial and Magnetic Sensors. Proc. of 2009 IEEE Workshop on Robotic Intelligence in Informationally Structured Space. 査読有, 2009, 25-29

② 小橋昌司、二次元/三次元画像位置合わせによる三次元動作解析の基礎、関節外科、査読無、9 巻、2008、28-36

[学会発表] (計 10 件)

① 津森洋平、八木正義、吉矢晋一、川野圭朗、小橋昌司、柴沼均、シンポジウム“ACL のトピックス”複合慣性センサを用いた pivot shift test の定量化システム、第 36 回日本臨床バイオメカニクス学会、2009 年 10 月 16 日、松山

② K. Kawano, S. Kobashi, A. Okayama, K. Kondo, M. Yagi, S. Yoshiya: Wearable Knee Kinematics Monitoring System of MARG Sensor and Pressure Sensor Systems, IEEE System of Systems Engineering, 2009 年 10 月 11 日-14 日、米国、サンアントニオ

③ 津森洋平、八木正義、吉矢晋一、川野圭朗、小橋昌司、畑豊、柴沼均、複合慣性センサを用いた Pivot shift test の定量的評価の試み、第 1 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会、2009 年 6 月 25 日、札幌

④ 津森洋平、八木正義、岡山明洙、吉矢晋一、柴沼均、小橋昌司、畑豊、2D/3D image registration に基づく ACL 再建膝の動作解析、第 82 回日本整形外科学会学術集会、2009 年 5 月 14 日、福岡

⑤ S. Yoshiya, A. Okayama, Y. Tsumori, M. Yagi, N. Shibamura, D. Kubo, S. Kobashi, K. Kondo, Y. Hata: Analysis of Three-Dimensional Kinematics of the ACL-Reconstructed Knee Using Digital Radiography and MDCT Images. Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society, 2009 年 3 月 22-25 日、米国、ラスベガス

⑥ 川野圭朗、小橋昌司、津森洋平、柴沼均、今脇節朗、八木正義、吉矢晋一、畑豊、複合慣性センサを用いた非拘束かつ簡便な 3 次元膝動態解析システム、第 35 回日本臨床バイオメカニクス学会、2008 年 11 月 15 日、大阪

⑦ 津森洋平、八木正義、吉矢晋一、柴沼均、

川野圭朗、小橋昌司、畑豊、複合慣性センサを用いたpivot shift testの定量的評価の試み、第23回日本整形外科学会基礎学術集会、2008年10月23日、大阪

⑧K. Kawano, S. Kobashi, Y. TsumoriN. Shibanuma, S. Imawaki, M. Yagi, S. Yoshiya, Y. Hata: Evaluation of Pivot Shift in the Anterior Cruciate Ligament - Injured Knee Using, Inertial and Magnetic Sensors. WAC 2008 IFMIP、2008年5月29-31日、米国、オースチン

⑨川野圭朗、小橋昌司、八木正義、近藤克哉、吉矢晋一、畑豊、複合慣性センサを用いたpivot shift testの定量化システム、第34回日本臨床バイオメカニクス学会、2007年12月7日、東京

⑩K. Kawano, S. Kobashi, A. Okayama, K. Kondo, M. Yagi, and S. Yoshiya: Analyzing 3D Knee Kinematics Using Accelerometers, Gyroscopes and Magnetometers. IEEE System of Systems Engineering. 2007年4月16-18日、米国、サンアントニオ

〔図書〕(計1件)

①吉矢晋一、津森洋平、柴沼均、小橋昌司、関節の三次元動作解析、リハ医とコメディカルのための最新リハビリテーション医学、寺田国際事務所/先端医療技術研究所、東京、2009、89-92

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉矢 晋一 (YOSHIYA SHINICHI)
兵庫医科大学・医学部・教授
研究者番号：00201070

(2) 研究分担者

道免 和久 (DOMEN KAZUHISA)
兵庫医科大学・医学部・教授
研究者番号：50207685
(H19→H20：連携研究者)

今村 史明 (IMAMURA FUMIAKI)
兵庫医科大学・医学部・助教
研究者番号：50411997
(H19→H20：連携研究者)

八木 正義 (YAGI MASAYOSHI)
兵庫医科大学・医学部・助教
研究者番号：80418970
(H19→H20：連携研究者)
畑 豊 (HATA YUTAKA)
兵庫県立大学・工学部・教授

研究者番号：20218473
(H19→H20：連携研究者)

小橋 昌司 (KOBASHI SHOUJI)
兵庫県立大学・工学部・准教授
研究者番号：00332966
(H19→H20：連携研究者)