

2. 研究の詳細

プロジェクト名	3次元生体膝アライメントに及ぼす下腿力学ストレスの影響		
プロジェクト期間	平成24年度		
申請代表者 (所属講座等)	梅野 貴俊 (技術教育講座)	共同研究者 (所属講座等)	
①研究の目的 本研究は、MRI 画像診断装置内で使用可能な、膝関節回旋ストレス負荷装置の開発を試み、“3次元生体膝アライメントに及ぼす下腿力学ストレスの影響”を明らかにすることである。本プロジェクト期間では、膝関節回旋ストレス負荷装置の設計・作製、機能評価試験を行い、臨床応用レベルまで到達させることである。 現在、医療整形外科分野において、靱帯損傷など生体膝の診断は、医師による徒手検査（手で膝関節にストレスを与え、患者の損傷程度を判断）、MRI 画像診断装置および CT 画像診断装置を用いた画像検査などにより行われる。近年、医療用画像診断装置内で上記徒手検査手法を行う新たな診断の試みが、九州大学病院整形外科を中心として行われている。この検査は、医師の徒手検査を MRI 画像診断装置などの大型医療機器の中で実施することで、膝関節に与えたストレスと、3次元の生体膝アライメントとの関係を明らかにすることで、損傷部位をより詳細に特定することを目指している。しかしながら、膝関節に与える力学ストレスは医師により異なるため、定量的解析が難しいなどの課題が存在する。そこで本研究は、医師の徒手検査に変わるストレス負荷装置を開発し、臨床応用することで、3次元生体膝アライメントに及ぼす下腿力学ストレスの影響を定量的に明らかにすることである。 ②研究の内容 本研究は、膝関節靱帯損傷膝の診断において、医師が行う徒手検査（下腿回旋ストレステスト）と同じ運動を行うことが可能なストレス負荷装置を設計・製作することである。この装置の開発にはいくつかの制限が存在し、一つは MRI 画像診断装置内で実験が行えることであり、これは、非磁性体以外の材料しか使用できない。もう一つは、下腿腓骨頭へ与える回旋ストレスの測定が可能なことである。ストレス測定には、センサを用いた方法が一般的であるが、センサ内部にはいくつかの金属部品が存在することから、使用できない。すなわち、新たに力の発生と測定を同時に行える機構を考案しなければならない。これら課題を解決し装置を作製した後、機能評価試験を実施する。得られた課題を次装置の設計にフィードバックするトライアンドエラーを繰り返すことで、装置を臨床応用レベルまで到達させる。 ③研究の方法・進め方 医師が行う徒手検査と同じ運動を行うことが可能な回旋ストレス負荷装置の設計を、CAD を用いて行う。下腿腓骨頭へ与えるストレス発生機構、そのストレス値を正確に測定する機構を新たに構築し、装置を作製する。次に、健常者を対象としたプレテストを開始し、装置の妥当性・信頼性を確認する。臨床評価は実際に MRI 画像診断装置内で実施し、得られた課題を次の設計にフィードバックする。この過程を繰り返し、装置を臨床応用レベルまで到達させる。 ④実施体制 検査装置の設計・製作、装置の機能評価は、研究代表者により行う。装置の妥当性、臨床評価は九州大学病院整形外科にて行う。 ⑤平成24年度実施による研究成果 1) 下腿カフ型サポーターを用いた腓骨頭回旋ストレス負荷装置 医師の徒手検査は、側臥位状態にある被験者の下腿部腓骨部に内旋ストレスを与えるものである。本装置では、下腿カフ型サポーターとおもり（水を入れたタンク）を用いて、徒手検査に近い条件となるよう設計・製作した（図1）。材料はすべて木材を使用しており、構造部の接合は樹脂ボルトを用いた。被験者のふくらはぎをサポーターで固定し、腓骨頭近位に取り付けたワイヤーにおもりを取り付けて、下腿内旋となるよう牽引した。おも			

りの質量を変化させることで、回旋ストレス（接線力）を変化させることが可能である。歩行時の3次元生体膝アライメントに及ぼす前方牽引力の影響に関する研究（Development of knee brace with posterior drawing system for anterior cruciate ligament deficient knee, Proc. of 11th ISPO, P.51, 2004）において、約 50（N）以上の前方牽引力で、大腿骨に対する脛骨の前方移動が確認された。このことから、本装置では、最大で約 50（N）の回旋力を与えることが可能となるよう設計した。

機能評価試験では、約 5（kg）のおもりをつり下げることで、50（N）の回旋力が発生することを確認した。しかしながら、臨床評価では、サポーターと軟組織との間にズレが生じ、腓骨頭に回旋力を与えることができず、下腿（膝関節付近）を前方に牽引していることが明らかとなった。

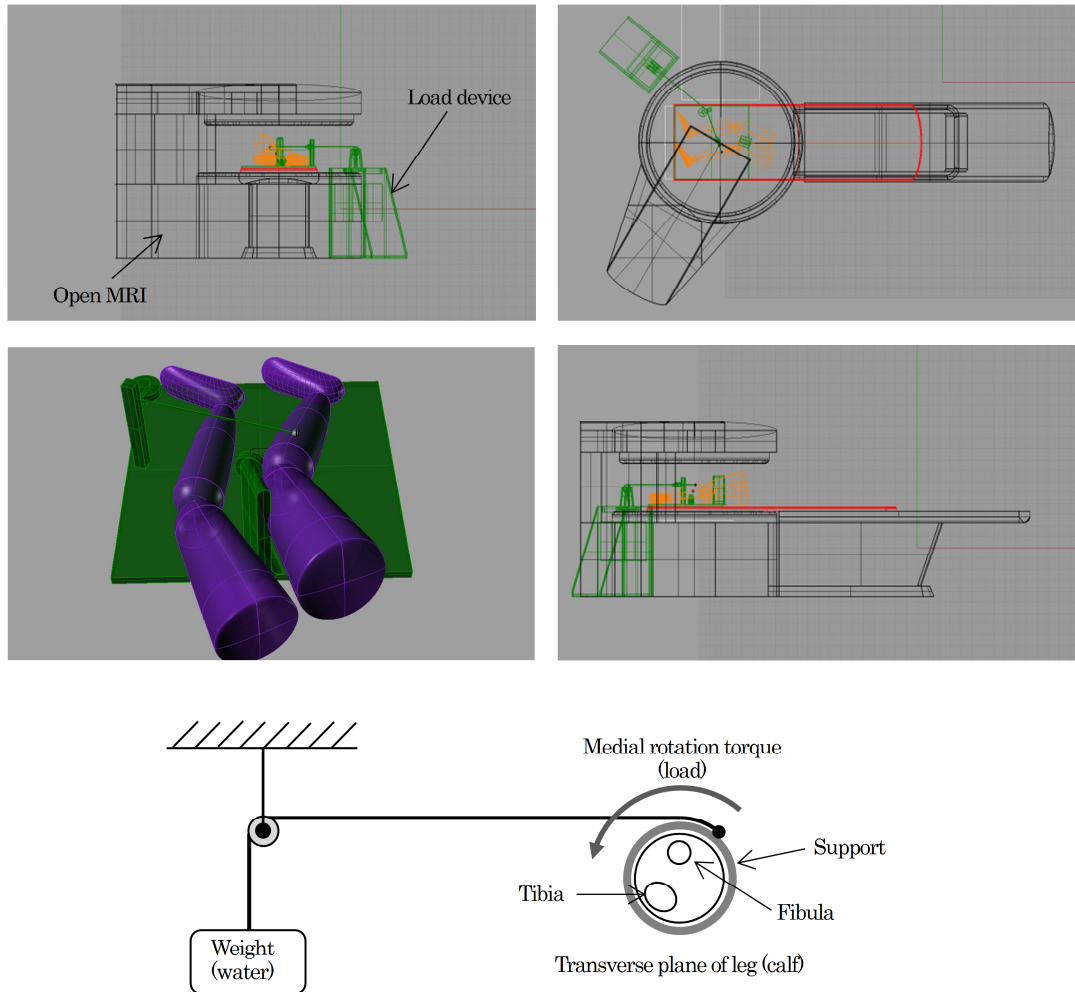


図1 下腿カフ型サポーターを用いた腓骨頭回旋ストレス負荷装置の概要図と CAD 図面

2) リーフスプリング・モーメント機構を用いた腓骨頭回旋ストレス負荷装置

本装置では、より簡易的に実験が行えるよう、装置1)とは全く異なるストレス発生機構を用いた。回転軸を有する押し込みバーとリーフスプリングを用いて、下腿部に内旋ストレスを与える機構を採用し（図2）、押し込み方向は4自由度で変更できる。押し込みバーに取り付けたリーフスプリングの一端を腓骨頭に押し当て、回転バーを任意の荷重となるまで回転させて、下腿部に内旋ストレスを与える。回転バーの回転角度で回旋ストレスが決定され、その値はリーフスプリングの変形量で計測することができる。回旋力は0～50（N）まで10（N）きざみの変更が可能である。本装置はすべてアクリル樹脂を用いて作製した。

機能評価試験では、0～50（N）まで段階的な回旋力の変更が可能であり、リーフスプリングにおいて、50（N）以下におけるクリープ現象はなく、測定値の誤差は極めて小さいことが確認された。臨床評価では、腓骨頭を押す圧子により被験者に痛みを感じることがあり、圧子部の改良が必要であった。さらに、50（N）の回旋力では、徒手検査に近い回旋ストレスを与えることが難しいことが明らかとなった。

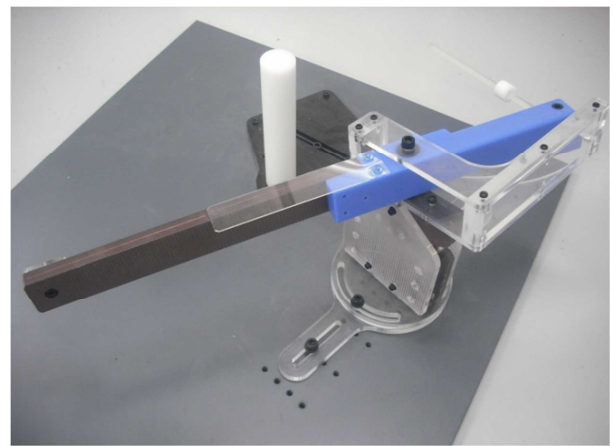
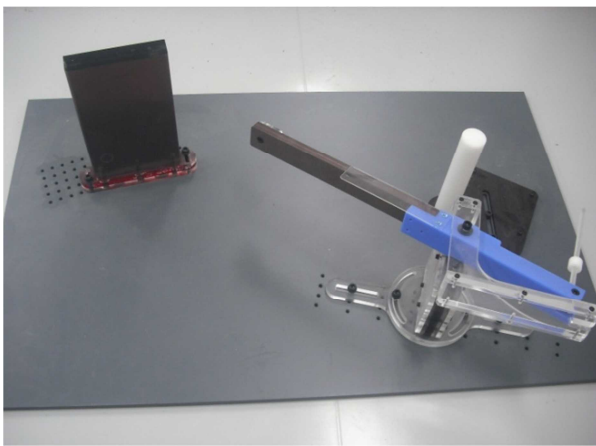
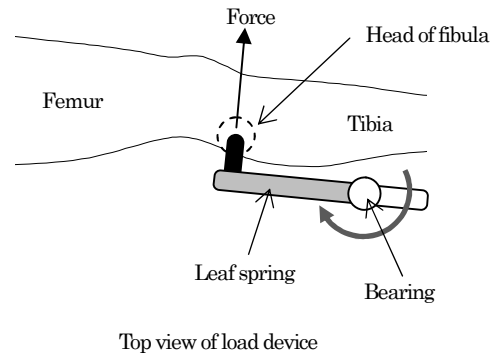
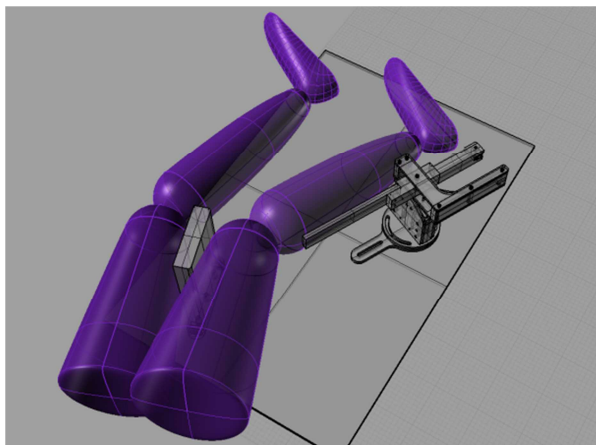


図2 リーフスプリング・モーメント機構を用いた腓骨頭回旋ストレス負荷装置

3) 簡易押し込み装置を用いた腓骨頭押し込み力（回旋力）の推定

これまでの実験結果より、腓骨頭に対する内旋ストレスを与えることは可能であるが、その値が小さいなど課題が明らかとなった。過去の研究成果を参考に、回旋力を推定し設計したが、より大きな回旋力が必要であると考えられた。徒手検査時の負荷値に関する研究報告（定量的解析結果）は少なく、回旋ストレスの推定は困難であるため、簡易装置を用いた回旋試験等の基礎実験を行った。この実験では、実際に医師により回旋ストレス試験を受けた被験者4名に対し、圧力計を用いた腓骨頭押し込み実験を行い、医師が被験者下腿腓骨頭に与える回旋ストレス（接線力）の近似値を求めた（この実験は、被験者の主観で結果が左右される。徒手検査時に腓骨頭が受ける回旋力の予想値であり、負荷装置設計の参考値に過ぎない）。この結果、得られた回旋力は 86.1 ± 11.6 (N) であり、これまでの設計において参考にしていた値よりも約2倍近い力が必要であることが明らかとなった。

4) リーフスプリング・ラチェット機構を用いた腓骨頭押し込み装置

本装置は、装置2)の改良型であり、押し込み装置にリーフスプリングとラチェット機構を採用している。付加可能なストレス値は、装置2)の2倍以上であり、本装置の機能評価は次年度に実施する。

⑥今後の予想される成果（学問的効果、社会的効果及び改善点・改善効果）

生体関節の中で最も複雑な運動を行う膝関節の正確な診断・定量的解析は非常に難しい。医師が行う徒手検査時の力学ストレスを、本研究で開発した装置を用いて定量化すること、その値と最新診断装置を用いた3次元画像とマッチングさせ、3次元生体膝アライメントに及ぼす下腿力学ストレスの影響を明らかにすることは、今後の診断精度の向上と、新たな医療機器の開発へと発展できる。さらに、サポーターやテーピングなど、リハビリテーション器具の評価へと研究領域の拡大も望めるなど、当該研究の発展性は非常に高い。

⑦研究の今後の展望

医師が行う徒手検査と同じ運動を行うことが可能なストレス負荷装置を、臨床レベルへと到達することが重要であり、本研究期間内では、まだそのレベルに至っていない。得られた課題を次装置の設計にフィードバックするトライアンドエラーを引き続き繰り返し、装置を臨床応用レベルまで到達させる。その後、本研究の最終目的である、“3次元生体膝アライメントに及ぼす下腿力学ストレスの影響”を明らかにする。

⑧主な学会発表及び論文等

上記研究成果は、日本機械学会年次大会、スポーツアンドヒューマンダイナミクスにて発表を行う予定である。

○本報告書は、本学ホームページを通じて学内外に公開いたします。

○本経費により作成された成果物や資料等については、必ず全て添付願います。

○研究テーマが2ヶ年計画の場合は、本報告書を平成25年度審査会の判断材料の一つといたします。