

## 【46】

氏 名	やま もと だいし 山 本 格
学位の種類	博士（医学）
学位記番号	乙第825号
学位授与の日付	令和4年2月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項
学位論文題目	MRI-based kinematics of the menisci through full knee range of motion (MRIによる膝全可動域における半月板動態解析)
論文審査委員	(主査) 教授 神 野 哲 也 (副査) 教授 楫 靖 教授 美津島 隆

### 論 文 内 容 の 要 旨

#### 【背 景】

膝関節における半月板は、荷重分散、関節適合性、関節安定性、関節の潤滑と栄養、固有感覚受容器、など重要な役割を担っている。膝関節が屈曲するほど半月板への荷重が増加することが報告され、膝関節機能において重要である。

MRIを用いた正常半月板の動態解析は、Thompsonらによる新鮮屍体膝を用いた報告がある。一方、Vediらは生体膝を対象とし、内側半月板と外側半月板の移動の違いについて報告している。しかしながら、臨床MRIの内径は狭く、生体膝の全可動域を撮影することは困難であり、半月板の動態に関し十分な研究はなされていない。膝関節の運動は、0°から120°まで大腿骨がその内側顆を中心として脛骨高原上を外旋運動する、いわゆるmedial pivot motionであり、120°以上で大腿骨顆が脛骨高原上を後方へ転がるroll-back motionであることが報告されている。medial pivot motion及びroll-back motionと半月板の移動との関係性については、特に深屈曲の角度でMRIの内径が狭く撮影が制限され、十分な研究はなされていない。

#### 【目 的】

膝全可動域における半月板動態解析を可能にするオープン型MRIを使用して、大腿骨-脛骨の運動に関係する半月板の動態を明らかにすることである。

## 【対象と方法】

本研究は獨協医科大学生命倫理委員会の承認およびインフォームド・コンセントを取得し、指針にしたがって行った。

成人健常ボランティア10名の右膝を対象とし、0.2TのコンパクトMRIを用いて、非荷重下で膝関節6パターンの角度（0°、30°、60°、90°、120°、およびfull flexion）で撮影した。内側および外側半月板（medial menisci：MM/lateral menisci：LM）の前節と後節の位置、そして内側および外側大腿骨顆（medial femoral condyles：MFC/lateral femoral condyles：LFC）位置を、各屈曲角度で測定した。

## 【結 果】

LFCは60°-90°またはそれ以上の屈曲角度において後方へ有意に移動し、大腿骨内側顆を中心としたmedial pivot motionを示した。LMは60°-90°またはそれ以上の屈曲角度において後方へ有意に移動した。MMの後節とMFCとの位置に関して、60°の屈曲角度を除いた全ての屈曲角度において統計的に有意な相関関係が認められた。LMとLFCとの位置に関して、LM前節とLFCは屈曲角度が90°以下において有意な相関関係が認められ、LM後節とLFCは60°、90°、およびfull flexionで有意な相関関係があった。

## 【考 察】

本研究では、MMおよびLMの移動パターンは、対応する大腿骨顆の移動パターンと類似し、半月板の動態が大腿骨顆の動態に従っていることを示している。大腿骨顆のmedial pivot motionはLMの大きな後方移動を可能にし、一方、MMは大腿骨顆のmedial pivot motionのため可動性が少なくなっていた。

膝関節の屈曲角度が増すと半月板への荷重負荷が増加すると報告され、膝が屈曲すると、半月板は後方へ荷重を受けることで後方移動する。そのため、半月板の移動は大腿骨-脛骨の動態に従っていた。

我々は膝全可動域における内外側半月板の動態解析を行うために、オープン型コンパクトMRIを使用することで、従来型の臨床MRIの構造上の制限を克服した。しかし、本研究の限界は次の通り、対象数が少なく、静的なMRI研究であり、非荷重下、低磁場（0.2T）オープン型MRIの画質であることが挙げられる。半月板動態に関する生理学的な情報を得るためにさらなる研究が必要である。

## 【結 論】

半月板の運動パターンは、大腿骨顆の運動パターンと類似していた。大腿骨顆のmedial pivot motionは、LMの大きな後方運動を引き起こした。半月板の動態は、大腿骨-脛骨の動態に関係する。膝関節全可動域における半月板動態の理解は、半月板の損傷メカニズムの理解、半月板移植の計画、および半月板手術の術後療法に重要である。

## 論文審査の結果の要旨

### 【論文概要】

半月板は膝関節において荷重分散、関節安定化等の重要な機能を担う組織であり、種々の動態解析が試みられてきた。Magnetic resonance imaging (MRI) は膝関節の半月板や靭帯などの構造を良好なコントラストで描出し、臨床で頻繁に用いられている。しかし、現在臨床で用いられているMRI装置では患者が入るガントリーの開口径や、膝関節用の受信コイルの大きさに制限があるため、膝関節を完全に屈曲させた状態での撮影は困難である。このため、生体膝の全可動域にわたってMRIで評価した半月板動態解析の報告はない。申請論文では、膝全可動域における半月板の動態を明らかにすることを目的としており、10名の右膝を対象とし、0.2TコンパクトMRIを用いて、非荷重下で膝関節6パターンの角度（0°、30°、60°、90°、120°、及びfull flexion）で撮影している。内側および外側半月板の前角と後角の位置、そして内側および外側大腿骨顆の位置を、各屈曲角度で測定し検討した結果、内側の前角を除く内側および外側半月板は大腿顆の運動パターンと類似していることを見出した。特に膝を屈曲していく際の大腿骨顆のmedial pivot motionが、屈曲角度と相関して外側半月板の大きな後方運動を引き起すと考察している。全可動域をMRIで評価した結果から、半月板の運動は大腿骨顆の運動に従っていると結論づけている。

### 【研究方法の妥当性】

適切な対象を設定し、膝関節の全可動域における半月板と大腿骨顆の位置を計測し、客観的な統計解析を行っている。画像のアーチファクトも考慮し、計測の信頼性についても適切に評価されており、本研究の方法は妥当なものである。

### 【研究結果の新奇性・独創性】

膝全可動域における半月板動態解析を可能にするオープン型コンパクトMRIを使用し、従来の報告では見られなかった詳細な結果を報告している。この点について本研究は新奇性・独創性に優れた研究と評価できる。

### 【結論の妥当性】

申請論文では計測結果の信頼性を評価している。また、従来の報告を渉猟し、多角的に比較・検討して結論を導き出している。論理的に矛盾はなく、関連領域における知見を踏まえても妥当なものである。

### 【当該分野における位置付け】

申請論文では、半月板の移動パターンは対応する大腿骨顆の移動パターンと類似し、外側半月板が膝屈曲に伴い後方へ大きく移動することを報告した。このことは、半月板損傷が生じるメカニズムを解明し、損傷の予防や適切な治療に結び付ける上で大変意義深い研究と評価できる。

### 【申請者の研究能力】

申請者は臨床整形外科や運動学の理論を学び実践した上で、全可動域における半月板動態解析について適切に評価・実験計画を立案し、本研究を遂行している。その研究成果は当該領域の国際的ジャーナルへ掲載されており、また既に半月板動態についての英文誌総説でも引用されている。申請

者の研究能力は高いと評価できる。

**【学位授与の可否】**

本論文は独創的で質の高い研究内容を有しており、当該分野における貢献度も高い。よって、博士（医学）の学位授与に相応しいと判定した。

**（主論文公表誌）**

Journal of Orthopaedic Surgery

(29 : 23094990211017349, 2021)