

MRI を用いた膝関節の接触判定と運動解析に関する研究

吉 田 秀 義*

Research on contact determination and kinematics of knee joint using MRI

by Hidenori YOSHIDA

膝関節は2つの関節、すなわち脛骨大腿関節と膝蓋大腿関節で構成されている。両関節の運動が関わり合い、膝全体の運動が生まれている。また、荷重の支持や衝撃の吸収、バランスの維持等の機能を持ち、力学的に過酷な環境状態にありながら、複雑な運動機能を有している。そのため、疾患や障害が多発する部位であり、疾患や障害は、膝関節の運動機能の低下に関係している。関節面において実際に接触するのは、骨ではなく関節軟骨であり、互いに向かい合う関節軟骨が接触することにより、関節面に働く力を分散させる。つまり、関節軟骨の大きな接触面積は関節面に加わる圧迫力をより分散させ、関節を変性から保護している。このメカニズムにより、健全な関節では軟骨摩擦や不快感なしに大きな圧迫力に耐えることができる。したがって、膝の運動力学を解明するためには、膝関節を構成する関節面相互の接触状態を知る必要がある。

膝関節内の力学的な環境の変化を直接的に解析する方法は、関節内に圧力センサ等を挿入して行う方法しかない。そのため、生体の膝関節での解析が必要であるが、侵襲性が高いため屍体膝関節が対象となっている。しかし、生体の膝関節での解析が重要であることから、間接的な解析方法ではあるが、骨組織および軟部組織を可視化できる磁気共鳴装置(magnetic resonance imaging：以下MRI)により、運動解析や接触状態等の研究がなされている。MRIによる関節の接触面での運動解析や接触状態の解析

において、関節軟骨同士の接触の判定が重要である。しかし、関節面の接触の判定は、視覚的に行われているのが現状である。そのため、観察者の識別能力に左右されない客観的な接触の判定方法が望まれる。

本研究では、MRIを利用する場合の観察者の識別能力に左右されない客観的な接触の判定方法を提案し、脛骨大腿関節と膝蓋大腿関節における関節面での運動解析と接触状態の解明を目的として、膝関節の屈曲に伴う脛骨大腿関節と膝蓋大腿関節の関節面での接触面積と接触分布の変化について検討した。

本論文は、関節の接触面積と接触領域の形状について、感圧フィルム(Pressure-Sensitive Film：以下PSF)による測定とMRIによる測定データを比較し、MRIによる測定方法の有効性と妥当性について検討する。そして、膝関節の屈曲に伴う脛骨大腿関節および膝蓋大腿関節の関節面の接触状態について明らかにする。

本論文の構成を以下に示す。本論文は「MRIを用いた膝関節の接触判定と運動解析に関する研究」と題して、全5章より構成されている。

第1章は、「緒論」であり、本研究に関する社会・経済的、医学的背景について述べるとともに、MRIを用いた脛骨大腿関節および膝蓋大腿関節の関節面の運動解析と接触状態の解析についてその現状と問題点を明らかにする。

第2章は、「MRIを用いた関節の接触領域の測定」

*新潟大学大学院自然科学研究科

現在 新潟大学医学部保健学科放射線技術科学
〔新潟大学博士(工学) 平成20年3月授与〕

である。関節面の接触状態を解析する上で、関節軟骨の接触判定は重要である。現在まで行われてきたMRIによる接触判定は、視覚的に判断されている。観察者の識別能力に依存しない客観的な関節軟骨の接触の判定方法が必要であることから、MR画像の相対する関節軟骨間の信号強度プロファイルを用いる方法を提案する。提案した接触の判定方法を、ブタ脛骨大腿関節に対して適用し、荷重下での接触面積および接触領域の分布図を求めた。その結果、信号強度比を0.9にすることによって、従来の研究で精度が高いとされるPSFによる測定値と誤差 $\pm 7\%$ 以内で一致することを示し、実用上問題がないことを明らかにした。

第3章は、「MRIを用いた脛骨大腿関節の運動解析と接触状態の解析」であり、第2章で提案した接触判定法と解析方法を用いて、運動解析と接触状態の解析を行った。その結果、荷重により内側および外側の接触面積は増加した。また、膝関節の屈曲に伴い内側および外側の接触面積は減少する傾向にあり、いずれの膝関節の屈曲角度においても、内側の接触面積は外側より大きかった。内側および外側の図心は、膝関節の屈曲に伴い後方および外側方向へ移動する傾向にあり、その移動量は内側の図心の方が大きいことが明らかにされた。

第4章は、「MRIを用いた膝蓋大腿関節の運動解析と接触状態の解析」であり、第3章と同様に第2

章で提案した接触判定法と解析方法を用いて、膝蓋大腿関節を対象に、膝関節の屈曲に伴う接触面積と接触領域の分布の変化を調べた。その結果、膝関節の屈曲に伴い接触領域分布は、遠位側から近位側へ移行し、接触面積も増加した。そして、膝蓋骨関節面の面積により接触面積を正規化した場合、男女差が認められなくなることが明らかにされた。

第5章「結論」は、本論文のまとめであり、本研究で得られた成果を総括し、今後の検討課題、将来展望について述べた。

謝辞：本研究を行うにあたり、ご指導、御校閲の労を賜りました新潟大学工学部教授の田邊裕治先生、新潟大学医学部教授の坂本信先生に敬意を表し、ここに深謝いたします。

MRI撮像においては、信楽園病院院長の鈴木正司先生、放射線科課長の加村毅先生、小武内孝二技師長をはじめとする診療放射線技師諸氏の皆様にご協力をいただきました。さらに、本論文作成において新潟大学工学部の原利昭先生、新田勇先生、大橋修先生、大矢誠先生にご指導をいただきました。ここに深くお礼を申し上げます。また、ご協力をいただきました材料力学研究室の皆様にお礼を申し上げます。