

氏 名	むら せ こう へい 村 瀬 晃 平
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1613 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 機 械 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	衝撃荷重時における生体下肢関節の荷重伝達機構に関するバイ オメカニクス的研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 池 内 健	教 授 赤 松 映 明	教 授 堤 定 美
--------	--------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

高齢化社会の到来とともに関節疾患の患者が増加しつつある。自由に動いて質の高い生活を維持することは、患者のためだけでなく、介護の負担を考えると社会的にも重要であり、関節疾患の防止と治療のための基礎研究として関節機能の解明が求められている。これまで関節のバイオメカニクス的研究は数多く行われてきたが、そのほとんどは静的、準静的な荷重に対するものであり、歩行時やスポーツ等における衝撃的な荷重下での関節の力学的研究は少なかった。

本論文は生体関節の中でも特に厳しい力学条件下に置かれる膝関節と股関節をとりあげ、それらが衝撃荷重下においてどのような荷重支持機構を維持するかについてバイオメカニクスの視点から検討を加えている。股関節と膝関節の三次元有限要素モデルを作成して衝撃荷重に対する海綿骨内部の応力とひずみを計算するとともに、骨軸方向に衝撃荷重を加えて海綿骨内部の応力を直接測定する方法を開発し、高速で伝播する応力波を測定している。

第1章では、本研究の背景と研究対象・目的について述べ、整形外科領域を中心とするこれまでの骨と関節に関するバイオメカニクス研究及び人工関節の研究・開発に関する調査し、それらの問題点を明らかにするとともに、本研究の概要について説明している。

第2章では豚の膝関節の海綿骨部分に小型の圧縮応力センサーを埋め込む方法を開発し、落錘式衝撃試験を実施して膝関節の海綿骨の圧縮応力を計測した結果、衝撃荷重下では内側部の応力が高く、また海綿骨に多くの荷重が伝達されることを明らかにしている。

第3章では、衝撃荷重に対する膝関節半月板の荷重伝達機構に注目して落錘式衝撃試験を行っている。膝関節半月板が健常な場合、内側部または外側部を切除した場合及び全切除した場合の荷重伝達と応力波の伝播機構を調べて比較し、半月板を切除すると反対側の海綿骨における圧縮応力が増加するのに対し、両方の半月板を切除した場合には海綿骨における応力が減少することを明らかにしている。静荷重下では半月板の応力分布への影響が少なかったことから、半月板は特に衝撃荷重を伝達する機能を有することを

明らかにしている。

第4章では豚膝関節の実際の形状に基づいて3次元有限要素モデルを作成し、静荷重時と衝撃荷重時における膝関節の挙動を数値解析によって調べ、実験結果と比較するとともに、半月板をはじめとする生体組織の材料特性を変化させて関節の荷重伝達特性への影響を調べた結果、半月板の荷重支持機能は静荷重よりも衝撃荷重に対して有効であることを確認している。

第5章では人間から採取した膝関節を用いて実験を行っている。健常な関節を用いて衝撃試験を行った後、それに半月板切除手術を施行し、衝撃荷重による変位とエネルギー散逸量が減少することを明らかにしている。ついで人工膝関節に置換して同様の測定を行い、エネルギー散逸量が回復する一方で、海綿骨に応力遮蔽が生じることを明らかにしている。

第6章では股関節をとりあげ、生体関節、臨床に用いられている人工股関節、開発中の人工軟骨を用いる表面置換型人工股関節の軸対称有限要素モデルを作成して静荷重と衝撃荷重に対する数値解析を行っている。その結果、従来型人工股関節においては、衝撃荷重によってポリエチレンソケットの裏側に健常な関節の2倍の応力が生じるが、表面置換型人工関節を用いれば応力を生体関節に近い値まで低下させ得ることを明らかにしている。

第7章は結論であり、衝撃荷重下における生体関節と人工関節の負荷機構を比較し、ひずみ速度と応力の伝達機構の関係について総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、膝関節と股関節における衝撃荷重下の応力波の伝播機構を実験と有限要素解析によって調べることにより、半月板、関節軟骨、海綿骨等の各組織の機能及び人工関節置換の影響を究明したもので、得られた主な成果は次の通りである。

- (1) 膝関節において、静荷重時には主として皮質骨から関節軟骨を経て相手側の皮質骨に応力が伝達されるのに対し、衝撃荷重時には主として海綿骨から関節軟骨、半月板を経て相手側の関節軟骨、海綿骨に応力波が伝播することを明らかにした。実験によってその結果を確認するとともに、半月板切除手術の関節機能に及ぼす影響を解明した。
- (2) 膝関節に衝撃荷重が加わると内側部の海綿骨において応力波の立ち上がりが早く、この部位で高い圧縮応力が生じることを明らかにし、関節症の予防と治療の指針を与えた。
- (3) 人工膝関節に置換した場合には、衝撃荷重によって関節下の海綿骨に応力の集中する部位と応力の低い部位が生じることを実証した。
- (4) 従来の人工股関節では衝撃荷重により寛骨臼の直下に応力集中を生じるのに対し、人工軟骨を有する表面置換型人工股関節の応力分布は生体関節に近いことを実証した。

以上要するに、本論文は膝関節と股関節に衝撃荷重が加わる場合の応力波の伝播機構を理論と実験の両面から調べた結果、応力分布が従来の静解析の結果と著しく異なることを明らかにしたもので、バイオメカニクス分野において新しい知見を与えると同時に関節症治療の指針を与えており、学術上実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また平成9年2月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。