

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 森清 友亮
 学位 博士 (工学)
 学位記番号 新大院博 (工) 第 503 号
 学位授与の日付 令和 2 年 3 月 23 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博士論文名 MRI を用いた母指関節の生体内三次元接触動態の解析に関する研究

論文審査委員 主査 教授・田邊 裕治
 副査 教授・平元 和彦
 副査 教授・新田 勇
 副査 教授・坂本 信
 副査 教授・小林 公一

博士論文の要旨

ヒトの手は 5 つの指を有しており、手外科的には第一指である母指と、第二～五指にグループ分けされる。母指を構成する関節として指節間関節 (IP 関節)、中手指節関節 (MCP 関節)、大菱中手関節 (TMC 関節) の 3 つの関節がある。これらの指の一部、または、全ての指のさまざまな運動を組み合わせることにより、対立 (opposition)、つまみ (pinch)、握り (grasp) など日常動作の中で頻繁に使用される動作を可能としている。このように、手は手指関節の運動により把持動作をはじめとて様々に機能しているが、それらに障害が生じた時の QOL の著しい低下は避けられない。しかしながら、障害と関連して重要な関節面の接触挙動に着目した *in vivo* のバイオメカニクス研究はほとんど行われていない。本論文は、軟骨描写に優れ、放射線被ばくのない核磁気共鳴画像法 (magnetic resonance imaging 以下、MRI) を用いて関節軟骨を直接考慮し、生体内での関節軟骨接触を評価する方法を確立し、日常動作における母指 IP、MCP、TMC 関節の生体内での 3 次元接触領域分布、関節軟骨接触面積および関節を構成する骨の関節運動について明らかにすることを目的としている。

本論文は全 4 章から構成されている。

第 1 章は緒論であり、本研究の背景、意義および目的について述べている。

第 2 章では、母指 IP および MCP 関節の Neutral, Lateral pinch, Grasp の 3 肢位の静的肢位変化における生体内三次元接触動態を明らかにしている。その結果、1)IP 関節の軟骨接触面積は Neutral から Lateral pinch 間で有意に増加し、Lateral pinch から Grasp 間で微増、2)MCP 関節の軟骨接触面積は肢位による大きな変化は認められない、3)各骨に設定した骨座標系から、IP 関節の屈曲に伴い末節骨は回内し、MCP 関節の屈曲に伴い基節骨は内転運動をしている、4)関節接触領域分布の変化から、IP 関節は主に滑り運動をしており、MCP 関節は基節骨の転がりによる肢位の変化が生じている、ことを明らかにしている。

第 3 章では、TMC 関節の伸展屈曲、内外転の静的肢位変化における生体内三次元接触動態を明らかにしている。その結果、1)大菱形骨 (TRZ) 関節軟骨表面積は手長と正の相関があるが、中手骨底部 (MCB) 関節軟骨表面積と手長および母指長では、いずれも相関がな

い、2)TMC 関節軟骨接触面積は伸展位で最大となり、内転、屈曲位、外転では伸展位に比べ有意に小さく、肢位間の差は少ない、3)内転-屈曲位-外転の肢位変化において、中手骨は内転運動に加えて内旋運動と伸展運動の 3 次元的な運動を示し、軟骨接触領域は MCB, TRZ いずれの骨表面上においても凹形状方向に沿って大きく移動し、凸形状方向においては移動が小さいが、回旋を示す、4)3)の結果から、TMC 関節は主に滑り運動を主体とした関節であるが、中手骨長軸方向周りの回転も生じている、ことを明らかにしている。

第 4 章は、本論文の結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上、本論文では MRI と新たに定義した座標系を用いて、母指関節運動と関節面の接触域との関係を *in vivo* で初めて明らかにし、学術的に新たな知見と臨床上および工学的に有用な結果を得ている。

審査結果の要旨

本論文は手指関節を対象としたバイオメカニクス研究であり、把持動作に関わる母指の運動に着目、MRI の利用と骨の参照点に基づく座標系構築によって、母指関節面の接触動態を *in vivo* で測定、解析している。その独創性は、*in vitro* の屍体実験しか行われていなかった手指関節のバイオメカニクス研究に新たな道を拓いたことである。そして母指関節の屈曲伸展や内外転運動に伴う関節接触面積の変化を初めて明らかにしている。これらの結果は変形性関節症の早期診断や人工関節開発といったバイオメカニクス分野への応用が期待される。

以上のように、本論文は、母指の運動を *in vivo* で測定し、汎用性のある座標系を定義して、母指関節の運動に伴う関節面の接触域の変化を定量的に明らかにしており、臨床および人工関節の設計開発の観点で意義ある知見を得ている。すなわち、得られた成果は工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。