

## 博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 風間 清子  
学位 博士 (保健学)  
学位記番号 新大院博 (保) 第 18号  
学位授与の日付 平成29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 前腕複合体と手指関節の三次元関節運動に関する生体内研究

論文審査委員 主査 坂本 信  
副査 関谷 勝  
副査 斎藤 正敏  
副査 李 鎔範  
副査 小林 公一

### 博士論文の要旨

本研究は、字を書く、食事をする、ラケットを使うスポーツ動作などで要となる前腕の回内・回外運動と日常生活の中で最も多く用いられる手の運動機能である「握る」動作を司る中手指節関節の屈曲に伴う接触動態および「握る」および「つまむ」動作に関わる近位指節間関節の屈曲に伴う接触動態について、生体内で解析することを目的としたもので、博士論文は以下の5章から構成されている。

第1章「緒論」では、本研究の背景、意義および目的を述べた。本研究で対象とした前腕複合体と中手指節関節および近位指節間関節について、それぞれ解剖と運動機能を担う筋骨格構造を簡説したのち、バイオメカニクスの特性に関する先行研究を概覧した。そして、前腕と中手指節関節および近位指節間関節の運動機能を生体内で三次元的に評価した研究例は少ないことを示し、本研究の意義を述べた。

第2章「前腕の回内・回外における橈骨一尺骨間運動の三次元生体内解析」では、前腕の回内・回外における橈骨一尺骨間運動を生体内三次元解析することを目的とした。CT画像から構築した橈骨および尺骨の三次元表面形状モデルを二方向X線画像に重ね合わせることで骨の空間位置を測定する手法を提示した。男性6名、女性6名の合計12名の健常者を対象に、回内90°、回内45°、中間位、回外45°、回外90°において、関節伸展位および屈曲位における尺骨に対する橈骨の相対位置変化を三次元で生体内解析した。その結果、中間位を基準とした橈骨の相対並進量は、回内において尺骨側、掌側および近位に向かって増加し、回外において尺骨側、背側、遠位に向かって増加した。中間位を基準とした橈骨の相対回転量は、橈尺方向周り、掌背方向周りではわずかであったが、長軸回りでは回内、回外ともに60°以上回転することを示した。また、肘関節伸展位と屈曲位による差異を調べた結果、橈尺方向と掌背方向の相対変位量と、橈尺方向、掌背方向および長軸方向回りの相対回転量が影響を受けた。男女差による影響については、三方向の変位量と橈尺方向および掌背方向回りの回転量において見られた。さらに、橈骨長と尺骨長に男女差があったことから、相対並進量を橈骨長さで正規化して比較を行った結果、長軸方向において肘屈曲位で回内90°のとき男女差が認められたこと等を明らかにした。

第3章「示指中手指節関節における接触領域および関節運動の三次元生体内解析」では、MRIを用いて静的に関節角度を変化させたときの示指中手指節関節（示指MCP関節）の接触面積および接触分布と、

基節骨と中手骨で構成される MCP 関節の三次元運動を生体内で明らかにするため、表面屈曲角度が中間位、屈曲位 45°、最大屈曲位および過伸展位における MCP 関節の接触領域分布と接触面積の変化について求めるとともに、MCP 関節の中手骨に対する基節骨の三次元運動を定量的に示した。その結果、MCP 関節の接触面積は過伸展において最も小さく、関節が屈曲するに従い増加した。また、中手骨頭 MCH における軟骨接触領域は、MCP 関節の屈曲に伴い尺骨測から橈骨測に分布し、関節が主に滑り運動をしていることを明らかにした。さらには、中手骨を基準とした基節骨の回転移動においては、中間位 0°から 30°に変化するに伴い、有意な外旋が認められること等を明らかにした。

第 4 章「示指近位指節間関節における接触領域の三次元生体内解析」では、MRI を用いて静的に関節角度を変化させたときの示指近位指節間関節（示指 PIP 関節）の接触面積および接触分布を求めた。加えて、PIP 関節運動形態の三次元生体内解析を行うために、示指 PIP 関節を伸展位から 45°屈曲、90°屈曲と変化させたときの接触面積および接触領域分布と図心点を求めた。その結果、PIP 関節の接触面積は伸展位が最も小さく、屈曲に伴い増加した。また、接触領域分布は、PPH において屈曲に伴い掌側に移動し、MPB においては PPH に比べ移動は小さい結果を示した。図心点も PPH は屈曲に伴い掌側へ移動するが、MPB の図心点はほぼ関節中心に位置していた。PIP 関節運動形態は、接触領域分布および接触領域図心点の動きから、完全伸展位から中程度屈曲(0°～45°)においては転がりと滑りの両運動であり、中程度屈曲から深屈曲(45°～90°)においては主に滑り運動であると推測された。これらは、PIP 関節の一軸性の蝶番関節である特徴を三次元生体内解析により明示した。

第 5 章「結論」では、本研究で得られた結果を総括するとともに、本研究に関する今後の展望を述べている。

#### 審査結果の要旨

上肢の運動機能は、ヒトが人間らしく豊かな生活を営む上で重要であり、上肢の運動を三次元的に定量評価することは、その生理学的運動機能を把握すると同時に、関節疾患や傷害によって機能が低下した場合の診断および治療法ならびに機能低下予防法の開発・改良に資する。本研究は、日常生活の中で多く用いられる前腕の回内・回外運動、手の運動機能である「握る」動作を司る中手指節関節の屈曲に伴う接触動態と「握る」および「つまむ」動作に関わる近位指節間関節の屈曲に伴う接触動態について、生体内で解析することを目的としている。具体的には、12 名の健常者を対象として、CT 画像から構築した尺骨および橈骨の三次元表面形状モデルと、前腕全体を撮像できる単純 X 線装置を用いて肘関節伸展位および屈曲位における回内 90°から回外 90°までの範囲で撮影した二方向 X 線画像を重ね合わせることで、回内・回外運動に伴う尺骨に対する橈骨の相対位置変化を三次元的に測定した。そして、肘屈曲角度、骨長および性による差異について明らかにしている。一方、生体内での示指中手指節関節（MCP 関節）の静的接触運動挙動を検討するため、健常成人男性 10 名の右示指 MCP 関節を対象に、表面屈曲角度が、中間位（骨角度： $-3.3 \pm 3.0^\circ$ ）、屈曲位 45 deg.（骨角度： $28.9 \pm 1.8^\circ$ ）、最大屈曲位（骨角度： $58.2 \pm 11.0^\circ$ ）および過伸展位（骨角度： $-30.5 \pm 10.0^\circ$ ）における MCP 関節の接触領域分布や接触面積の変化について求めるとともに、MCP 関節の中手骨に対する基節骨の三次元運動を定量的に明らかにした。さらに、生体内における示指近位指節間関節（示指 PIP 関節）における静的接触挙動について MR 画像を用いて検討を行い、健常者 5 名の指屈曲 3 肢位 における PIP 関節の接触領域分布と接触面積の変化を明らかにした。その結果、PIP 関節の接触面積は伸展位で最も小さく  $29.1 \pm 6.7 \text{ mm}^2$  であり、屈曲 45° で  $40.2 \pm 6.6 \text{ mm}^2$

、屈曲90°では66.5 ± 13.6 mm<sup>2</sup>となり、PIP関節の屈曲に伴って接触面積は増加する傾向がみられた。また、PIP関節運動形態は、完全伸展位から中程度屈曲位においては、転がりと滑りの運動であり、中程度屈曲位から深屈曲位では、主に滑り運動であると判断した。本研究結果は、”tongue-and-groove joint”と呼ばれるPIP関節の特徴について定量的に明らかにした。

本博士論文に関する研究は、国際学術雑誌1件、国内学術雑誌3件に掲載されており、関連する研究は、国内・国際会議で発表されている

以上、本論文は放射線技術科学関連分野のみならず、今後の整形外科での診断や治療等に対しても有意義な知見を提示している。よって、本論文は博士（保健学）の学位論文として十分価値を有するものと考えらる。