

氏名（本籍）	兵頭 康次郎		
学位の種類	博士（医学）		
学位記番号	博甲第	9950	号
学位授与年月	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	人間総合科学研究科		
学位論文題目	人工膝関節全置換術後患者に対する床反力計と表面筋電図を同期させた三次元動作解析-正常膝関節を模倣した近代型人工関節と従来型人工関節との比較-		
主査	筑波大学教授	博士（医学）	関堂 充
副査	筑波大学教授	工学博士	榮 武二
副査	筑波大学准教授	博士（医学）	清水 如代
副査	筑波大学講師	博士（医学）	石井亜紀子

## 論文の内容の要旨

兵頭康次郎氏の博士学位論文は、人工膝関節全置換術後患者に対する床反力計と表面筋電図を同期させた三次元動作解析を用いて正常膝関節を模倣した近代型人工関節と従来型人工関節を比較検討したものである。その要旨は以下のとおりである

目 的：著者はまず人工膝関節全置換術(TKA)において術後の動態評価としてモーションキャプチャシステムに、床反力計と表面筋電図を同期させることで、kinematics に加えて、kinetics と筋活動を含めた動態解析を行い、正常膝を模倣した近代型 TKA と従来型 TKA を比較検討するため以下の実験を行っている。

対象と方法：対象は 60 歳以上の変形性膝関節症患者に対して行った片側 TKA 術後患者で、正常膝を模倣した近代型 TKA(Smith and Nephew 社製 Journey 2)を用いた 12 例(以下 M 群)と従来型 TKA(Smith and Nephew 社製 Legion)を用いた 12 例(以下 C 群)の 2 群の比較を著者は行っている。M 群は、男性 2 例、女性 10 例、平均 69.4 歳(62-76)、術後経過観察期間 13.1 ヶ月(6-25)、対して C 群は、男性 4 例、女性 8 例、平均 70.0 歳(61-84)、術後経過観察期間 16.8 ヶ月(10-26)であった。著者は Plug-in Gait モデルを用いた三次元動作解析装置(VICON MX)に床反力計(AccuGait)と無線表面筋電図(Trigno)を同期させ、歩行解析と立ち上がり解析を行っている。歩行動作は 10m の歩行路を至適速度で 3 回歩行させ、立ち上がり動作は両手を腰に添えて 90 度に膝を屈曲させた肢位から、至適速度で 3 回立ち上がり動作を行ったものである。歩行解析では歩行中の下肢関節角度、立脚期膝関節モーメントを評価し、6 カ所(内側広筋、大腿直筋、外側広筋、半腱様筋、大腿二頭筋、中殿筋)の筋活動を立脚期、遊脚期の積分筋電図と最大随意収縮の割合で算出している。立ち上がり解析は動作中の下肢関節角度、膝関節角速度、膝、股関節モーメントを計測し、歩行解析と同様に筋活動を評価している。各項目を M 群と C 群で対応のない t 検定で比較し、P 値は 0.05 未満を有意とし、SPSS Statistics 21.0 を解析に使用している。

結果：[歩行解析] 著者は、歩行速度が M 群で  $1.1 \pm 0.2 \text{m/s}$ 、C 群で  $0.9 \pm 0.2 \text{m/s}$  と M 群で速く ( $p=0.03$ )、歩幅が M 群で  $0.54 \pm 0.07 \text{m}$ 、C 群で  $0.45 \pm 0.11 \text{m}$  と、M 群で長いことを示している ( $p=0.03$ )。M 群、C 群ともに double knee action を示したが、立脚初期の膝関節屈曲角度が M 群で  $10.9 \pm 3.0$  度、C 群で  $8.0 \pm 2.6$  度と M 群で有意に大きいとしている ( $p=0.04$ )。また立脚期膝関節伸展モーメントが M 群は  $0.55 \pm 0.24 \text{Nm/kg}$ 、C 群で  $0.34 \pm 0.19 \text{Nm/kg}$  と M 群で有意に大きいことを示している ( $p=0.04$ )。筋活動において有意差はなかったが、立脚期、遊脚期ともに M 群で四頭筋の筋活動が低かったとしている。

#### [立ち上がり解析]

立ち上がり動作は M 群、C 群ともに 11 例での比較を著者は行っている。立ち上がりにおける膝伸展角速度は M 群で  $131.3 \pm 33.8^\circ/\text{s}$ 、C 群で  $113.3 \pm 30.1^\circ/\text{s}$  と M 群で速かったとしている ( $p=0.22$ )。最大膝関節伸展モーメントは M 群で  $0.37 \pm 0.1 \text{Nm/kg}$ 、C 群で  $0.32 \pm 0.14 \text{Nm/kg}$  ( $p=0.35$ )、最大股関節伸展モーメントは M 群で  $0.52 \pm 0.23 \text{Nm/kg}$ 、C 群で  $0.69 \pm 0.16 \text{Nm/kg}$  としている ( $p=0.08$ )。平均垂直床反力は M 群で  $4.08 \pm 0.5 \text{N/kg}$ 、C 群で  $4.68 \pm 0.4 \text{N/kg}$  と M 群で小さかったとしている ( $p=0.01$ )。筋活動においては、著者は、内側広筋、大腿直筋、外側広筋において M 群が C 群より少ない傾向を示したとしている。

考察：著者は、M 群である近代型 TKA の特徴は、内外側が左右非対称の解剖学的な関節面形状を再現しているとしている。冠状面の関節面傾斜に加えて、矢状面で大腿骨がより前方に位置していて、生体に近い大腿骨、脛骨の前後位置関係を獲得しており、medial pivot や posterior rollback などの生理的な膝関節運動を示す guided motion 型インプラントと述べている。また BCS 型インサートでは ACL と PCL の機能を代用する特徴的なポストカム構造も持ち合わせているとしている。一方、従来型 TKA である C 群は内外側が左右対称の形状であり関節面傾斜も平坦であり、良好な臨床成績が報告される一方、動態解析で異常な関節運動を示すとしている。今回歩行動作では、M 群で正常に近い double knee action を示したとしている。また、C 群と比較し立脚期膝関節伸展モーメントが大きかったことも示している。ACL 不全膝では、歩行立脚期の膝関節伸展モーメントが低下することが知られていることから、著者は、C 群と比較し M 群では ACL の機能の一部をインプラント形状で再現できた可能性があるとしている。立ち上がり動作に関しても M 群では C 群と比較し、M 群ではより速く立ち上がることができ、M 群では C 群と比べて股関節伸展モーメントが少なく、かつ大腿四頭筋の筋活動が少ない傾向であったとしている。著者は、平均垂直床反力が少ないことを鑑みると、M 群ではより大腿四頭筋を有効に活用した立ち上がり動作が行われていることが示唆され、特徴的なデザインが影響していると考察している。

結論：著者は、TKA 術後患者に対して、床反力計と表面筋電図を同期させたモーションキャプチャシステムで三次元動作解析を行っている。正常膝を模倣した近代型 TKA と従来型 TKA の比較において、歩行動作と立ち上がり動作で近代型 TKA は、特徴的なインプラント形状により前十字靭帯の機能の一部である前方安定性を獲得でき、さらに大腿四頭筋を有効に活用して動作を行えた可能性が示唆されたと述べている。Kinematics と kinetics と筋活動を同時に評価できる本研究の動作解析手法は TKA 術後患者の動態評価として有用であろうと著者は結論付けている。

## 審査の結果の要旨

### (批評)

本研究は人工膝関節全置換術(TKA)において術後の動態評価としてモーションキャプチャシステムに、床反力計と表面筋電図を同期させるという新しい手法を用いている。kinematics に加えて、kinetics と筋活動を含めた動態解析を行い、正常膝を模倣した近代型 TKA と従来型 TKA を比較し、歩行動作と立ち上がり動作で近代型 TKA は、特徴的なインプラント形状により前十字靭帯の機能の一部である前方安定性を獲得でき、さらに大腿四頭筋を有効に活用して動作を行えた可能性を示している。本研究は新しい TKA 術後の動作解析手法として有用であると考えられる。

令和 3 年 1 月 13 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもと論文について説明を求め、関連事項について質疑応答を行い、最終試験を行った。その結果、審査委員全員が合格と判定した。よって、著者は博士(医学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。