

## 博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名	富山 泰行
学位	博士 (医学)
学位記番号	新大院博 (医) 第 1127 号
学位授与の日付	令和5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	Normal coronal kinematics of dynamic alignment and bony positions relative to the ground in three-dimensional motion analysis during gait: A preliminary study. (歩行時の三次元動作解析における動的アライメントと地面に対する骨位置の冠状面キネマティクス: 予備的研究)
論文審査委員	主査 教授 石川 浩志 副査 教授 松田 健 副査 准教授 木村 慎二

### 博士論文の要旨

【背景】冠状面における脛骨近位関節面の傾斜は変形性膝関節症だけでなく、高位脛骨骨切り術などの手術でも注目されている。健常人の脛骨関節面は内側に傾斜しており、荷重時に地面に対して水平化することが静的アライメント研究で報告されている。大腿骨は歩行時の動的変化において、アライメントに関与していると考えられている。しかし、歩行時の脛骨、大腿骨の動的な骨軸変化は不明のままである。モーションキャプチャーシステム (VICON) による三次元歩行解析に三次元下肢アライメントシステム (KneeCAS) を組み合わせることで正確な動的骨軸変化の三次元評価が可能である。本研究の目的は健常人の歩行立脚期での冠状面での地面に対する大腿骨、脛骨の骨軸変位、動的なアライメント変化を明らかにすることである。

【対象と方法】対象は変形性膝関節症のない健常人 21 膝 (女性 9 膝、男性 12 膝)、平均年齢は  $36 \pm 17$  歳であった。各症例の身長、体重、BMI を評価した。3D 大腿骨、脛骨モデルを作成、立位下肢全長を 2 方向撮影し、3D-2D レジストレーションを行い、KneeCAS によって、冠状面での立位静的アライメント (FTA) を評価した。その際に VICON で用いるスキンマーカーを使用し、マーカーと各骨の位置を計測し、VICON による歩行解析を行い、大腿骨と脛骨の動的変化の推移を測定した。歩行立脚期における World 座標系の冠状面での大腿骨軸 (FAA)、脛骨軸 (TAA) の動的骨軸変化量、動的アライメント変化量を評価した。変化量は最大変化量と最小変化量の差を求めた。また、地面に対する変化および、初期値を 0 とした場合の変化の推移を評価した。それぞれの評価項目について男女間の比較を行い、統計学的検討は対応のない t 検定および Mann-Whitney U 検定、repeated measures ANOVA を使用した。統計学的有意差は  $p < 0.05$  とした。

【結果】体重は女性:  $50.8 \pm 4.1$  kg、男性:  $72.2 \pm 10.6$  kg ( $p < 0.001$ )、身長は女性:  $156.2 \pm 4.5$  cm、男性:  $173.1 \pm 4.3$  cm ( $p < 0.001$ )、BMI は女性:  $20.8 \pm 1.6$ 、男性:  $24.1 \pm 0.3$  ( $p = 0.002$ )、FTA は女性:  $175.9 \pm 2.2^\circ$ 、男性:  $179.6 \pm 3.7^\circ$  ( $p = 0.017$ ) とそれぞれ男女間で有意差を認めた。歩行立脚期の FAA 変化量は女性: 外傾  $3.3 \pm 1.2^\circ$ 、男性: 外傾  $3.9 \pm 1.3^\circ$ 、TAA 変化量は女性: 外傾  $3.3 \pm 0.8^\circ$ 、男性: 外傾  $3.5 \pm 0.8^\circ$ 、動的ア

ライメント変化量は女性：内反  $3.0 \pm 0.9^\circ$ 、男性：内反  $3.0 \pm 1.5^\circ$  でそれぞれ男女間で有意差は認めなかった。TAA の外傾変化、動的アライメント内反角度変化は立脚期初期の荷重応答期で角度変化を示して以降は、ほぼ変化しなかった。一方で大腿骨は緩やかに外傾した。地面に対する変化は差はなかったが、初期値を 0 とした変化の推移では、TAA に差がなく、FAA は男性で外傾変化が大きく、動的アライメント変化は女性で内反が持続するため、男女間で有意差を認めた (FAA:  $p=0.030$ , : 動的アライメント  $p=0.050$ )。

【考察】TAA の変化は荷重応答期に急激に変化するが、脛骨関節面骨形態、アライメント、靭帯、膝内反モーメント (KAM) が影響する。脛骨関節面は TAA から約  $5^\circ$  内側に傾斜している。荷重時に KAM によって下肢アライメントは内反つまり、TAA を外側に傾斜させ、脛骨関節面が地面と並行になる。本研究において TAA 変化に性差がなかったのは各種要因が関与している。このメカニズムは二足歩行を実現するために重要である。FAA の変化の推移は性差を示し、そのため荷重応答期の動的アライメント変化も性差を示した。立脚期の間、片脚立位のバランスを取るため急激な TAA の変化に対応することで股関節を使用して大腿骨は緩やかに外傾した。男女差は身長、体重、BMI、FTA の影響で、膝関節への応力が異なることが原因であった。動的アライメント変化は荷重応答期で急激な内反変化を示した。内反スラストは歩行時における膝の急激な外側への動きである。変形性膝関節症と関連があるが、健常人でも認められる。KAM は荷重時に最大となるため、歩行時の内反スラストは荷重応答期の動的アライメント変化が増加していることを示している。

#### 審査結果の要旨

申請者は、三次元下肢アライメントシステム (KneeCAS) とモーションキャプチャーシステム (VICON) を組み合わせることで健常人 21 膝 (女性 9 膝、男性 12 膝、平均年齢  $36 \pm 17$  歳) を対象として歩行時の動的骨軸変化の三次元評価を行った。対象の身長、体重、BMI を評価し、3D 大腿骨、脛骨モデルを作成、立位下肢全長を 2 方向撮影し、3D-2D レジストレーションを行い、KneeCAS によって、冠状面での立位静的アライメント (FTA) を評価した。その際に VICON による歩行解析を行い、大腿骨と脛骨の動的変化の推移を測定し、歩行立脚期における大腿骨軸 (FAA)、脛骨軸 (TAA) の動的変化量、動的アライメント変化量を評価した。評価項目について男女間の比較を行い、統計学的検討は対応のない t 検定および Mann-Whitney U 検定、repeated measures ANOVA を使用した。統計学的有意差は  $p < 0.05$  とした。体重、身長、BMI、FTA は男女間で有意差を認めた。FAA 変化量、TAA 変化量、動的アライメント変化量は  $2-5^\circ$  の範囲で有意差は認めなかった。TAA の外傾変化、動的アライメント内反角度変化は立脚期初期の荷重応答期で角度変化を示して以降は、ほぼ変化しなかった。一方で大腿骨は緩やかに外傾した。初期値を 0 とした変化の推移では、TAA に差がなく、FAA は男性で外傾変化が大きく、動的アライメント変化は女性で内反が持続するため、有意差を認めた (FAA:  $p=0.030$ , : 動的アライメント  $p=0.050$ )。本研究では、VICON による三次元歩行解析に KneeCAS を組み合わせることで、健常人の歩行立脚期での冠状面での地面に対する大腿骨、脛骨の骨軸変位、動的なアライメント変化を明らかにしており、医学の発展に寄与することから学位論文としての価値を認める。