

審査の結果の要旨

氏名 河 野 賢 一

本研究は正常膝の深屈曲動作（スクワット、正座、胡坐）の3次元動的な動態情報を正確かつ定量的に明らかにするため、2D/3D レジストレーション法（X線透視画像より得られた投影輪郭に、人工関節の各部品的设计図である computer aided design (CAD) モデル、投影中心、焦点距離の情報を入れたカメラパラメータから、人工関節の空間位置姿勢をソフトウェアによって自動的に推定する方法）による生体内3次元動態解析を試みたものであり、下記の結果を得ている。

1. 正常膝のスクワットについて、これまで静的動作（一連ではない動作）による評価によって報告されてきた大腿骨が緩やかに外旋するという動きと、本研究では違いがみられた。屈曲0度から40度まで大腿骨の急峻な外旋がみられ、屈曲40度からは緩徐な外旋がみられた。浅い屈曲領域での急峻な大腿骨の外旋は screw-home motion（前十字靭帯や大腿骨内顆の関節面形状によって引き起こされる脛骨の内旋（大腿骨の外旋）運動）を表していることが示唆され、中間屈曲領域から深屈曲領域までの緩徐な外旋は rollback（大腿骨の後方移動）を表していることが示唆された。このことから、同じスクワット動作であるにも関わらず、静的評価（一連ではない動作の評価）と動的評価（一連の動作の評価）ではキネマティクスに違いがみられることが明らかとなった。スクワット、正座、胡坐間でも屈曲に伴う回旋パターンは有意に異なっており、さらに深屈曲領域では胡坐における大腿骨の回旋量がスクワットと比較し有意に大きくなっていった。このことから正常膝関節の回旋運動は深屈曲動作によって異なり、回旋幅も大きいことが示された。

2. 内外反では、深屈曲領域において胡坐では内反位であったことから胡坐では深屈曲領域で膝関節に大きな内反ストレスがかかっていることが示唆された。深屈曲領域において、回旋角度や前後移動については三動作間で有意差はみられていなかったことから、深屈曲領域における胡坐動作では膝関節の外側コンパートメントのギャップがスクワットや正座に比べて大きくなっているのかもしれないと考えられた。

3. 大腿骨内側の前後移動については、中間屈曲領域において胡坐で後方移動がみられた。しかしながら、外側はスクワットで屈曲130度まで後方移動がみられた。また、屈曲130度以降は三動作間の差が小さかった。このことから中間屈曲領域では三動作間での違いがみられるが、深屈曲領域ではそれぞれの動作で明らかな違いがみられにくくなることが示された。

4. 胡坐では屈曲100度まで外側を基点に内側が移動する lateral pivot pattern を示していた。特に屈曲30度から100度では内側の後方移動がみられていた。このことより胡

坐動作においては正常膝の内側コンパートメントは緩んでいることが示唆された。内側を基点に外側が移動するいわゆる **medial pivot** を誘導する人工膝関節の臨床成績が良好であると報告されてきているが、本研究の結果を踏まえると人工膝関節全置換術 (**Total Knee Arthroplasty (TKA)**) 後の膝のキネマティクスの目標を正常膝のキネマティクスとするのであれば、中間屈曲領域では内側関節面の適合性を軽減させることで **lateral pivot** も許容するようなインプラントも選択肢の一つになるのではないかと考えられた。

5. 深屈曲領域において、スクワットは **bicondylar rollback** を示した。一方で、正座と胡坐では **medial pivot pattern** を示した。このことからスクワットのような荷重動作では大腿骨がより後方へスライドしやすいことが示唆された。

以上、本論文は 2D/3D レジストレーション法により正常膝の生体内 3 次元動態解析を行い深屈曲動作が異なることでキネマティクスも異なることを明らかにした。特に胡坐では中間屈曲領域で大腿骨が脛骨に対して内旋し、**kinematic pathway** (膝関節内外側の前後移動を同時に表現したもの) も屈曲するにつれて **lateral pivot pattern** から **medial pivot pattern** に変化しており、スクワット及び正座のキネマティクスとは大きく異なっていることを明らかにした。本研究をもとに靭帯付着部間距離を算出することで靭帯バランスを明らかにすることや X 線透視撮影時に筋電図を同期させることで大腿四頭筋やハムストリングといった筋力の影響を評価することも可能になるのではないかと考えられる。また、これまでインプラント間でしか評価できなかった人工膝関節単顆置換術や TKA といった人工膝関節置換術後の膝と直接比較することも可能になると考えられる。さらに、変形性膝関節症と正常膝のキネマティクスを比較検討することで、変形性関節症発生機序の解明に重要な貢献をなすと考えられ、学位の授与に値するものと考えられる。