

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 村山 敬之
学位 博士 (医学)
学位記番号 新大院博 (医) 第 683 号
学位授与の日付 平成 28 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 Three-dimensional in vivo dynamic motion analysis of anterior cruciate ligament-deficient knees during squatting using geometric center axis of the femur.
(前十字靭帯不全膝におけるスクワット運動の大腿骨 geometric center axis を用いた三次元的動的運動解析)

論文審査委員 主査 教授 佐藤 昇
副査 教授 遠藤 直人
副査 教授 平野 徹

博士論文の要旨

【背景】前十字靭帯 (ACL) 不全膝の運動を解析することは、運動の見地から見た ACL の役割や ACL 損傷に続発する半月板、軟骨障害のメカニズムを解明する上で重要である。近年では、三次元 (3D) / 二次元 (2D) レジストレーション法を用いた ACL 不全膝の運動解析が行われ、三次元的かつ動的な生体の運動の解析・評価が可能となった。しかし、これまでの同法を用いた ACL 不全膝の運動解析研究では、内外側コンパートメントにおける運動を別々に評価した研究や半月板損傷のない ACL 単独損傷のみを解析した報告は少ない。また、これらの先行研究では ACL 損傷例の健側膝を健常コントロールとして評価が行われているものの、健側膝の運動が損傷などの無い健常膝の運動と同様であるかは確認されていない。本研究では、3D/2D レジストレーション法を用いた健常膝における運動解析の先行研究と同様の手法を用い、ACL 単独損傷例の内外側コンパートメントにおける三次元的な膝運動を解析した。ACL 損傷例の健側膝は先行研究で報告された健常膝と類似した運動を呈し、かつ患側膝では健側膝と異なる運動を呈することを仮説とし、その検証を行った。

【対象と方法】対象は ACL 再建術施行前の症例のうち、半月板損傷のない 22 例とした。男性 10 例、女性 12 例、平均年齢 22.5 (13~47) 歳、受傷から測定までの期間は平均 4.2 (1~13) か月であった。健患両側の下肢全長 Computed tomography (CT) を撮影し、大腿骨と脛骨の 3D 骨モデルを作成した。大腿骨内外側後顆を球に近似し、その各々の球の中心を結んだ線分を geometric center axis (GCA) と定義した。解剖学的骨参照点から脛骨座標系を設定し、その xy 平面を脛骨 axial 平面と定義した。健患側両膝の立位から膝最大屈曲位までのスクワット運動を一方向透視 X 線で撮影し、その画像に 3D/2D レジストレーション法を用いて 3D 骨モデルをマッチングさせ、大腿脛骨間の三次元的な相対運動を計測した。先行研究の方法に準じ、GCA を脛骨 axial 平面に投影してその軌跡で膝動態を解析した。検討項目は膝最大伸展位から最大屈曲位における GCA の角度変化量、内外側端点の前後方向位置、前後方向移動範囲、運動パターンと

し、これらを患側側で比較検討した。GCA の前後方向位置は脛骨座標系 y 座標値（前方：正、後方：負）で評価した。前後方向移動範囲は膝最大伸展位から最大屈曲位における GCA 端点の軌跡の最前方点から最後方点までの距離と定義した。運動パターンは GCA の軌跡のなす交点の位置で評価した。

【結果】 健患側での GCA の回旋角度は、各々 $23.6 \pm 10.5^\circ$ 、 $20.6 \pm 8.6^\circ$ で有意な健患差は認められなかった。膝最大伸展位での GCA 端点の前後方向位置は、内側では健側 $-10.5 \pm 3.5\text{mm}$ 患側 $-12.3 \pm 3.2\text{mm}$ で有意な健患差を認めなかったが、外側では健側 $-1.5 \pm 4.9\text{mm}$ 、患側 $-5.2 \pm 5.3\text{mm}$ で、患側が有意に後方に位置していた ($p < 0.05$)。膝屈曲 0° でも同様に患側の GCA 外側端点が健側に比べ有意に後方に位置していたが ($p < 0.05$)、それ以降は最大屈曲位まで GCA 端点の位置は内外側とも有意な健患差を認めなかった。GCA 端点の前後方向移動範囲は、外側では健側 $13.2 \pm 7.1\text{mm}$ 、患側 $11.3 \pm 5.3\text{mm}$ で有意な健患差を認めなかったが、内側では健側 $7.5 \pm 2.8\text{mm}$ 、患側 $9.7 \pm 2.5\text{mm}$ で、患側において有意な増大を認めた ($p < 0.01$)。健側膝のうちほぼ全例 (95%) が、健常膝でみられるとされる medial pivot 運動を呈したのに対し、患側膝では 55% が medial pivot motion を、27% が lateral pivot motion を呈し、残りの 18% では膝屈曲に伴い pivot pattern の変動が認められた。

【考察と結論】 健側膝は過去に報告された健常膝の運動と類似した運動を呈する一方、患側膝はそれと異なる異常な運動を呈していた。ACL 不全膝では膝伸展位付近において脛骨外側顆が前方に偏位し、膝伸展位付近での正常な脛骨内旋運動 (screw home movement) が障害されると考えられた。また、ACL 不全膝では脛骨に対する大腿骨内側顆の移動範囲が増大し、半月板損傷や軟骨変性につながる可能性があることが示唆された。これまでの ACL 不全膝の動的運動解析では、内外側コンパートメントにおける運動を別々に評価したものは少なかった。本手法では動的な膝運動を内外側コンパートメントで別々に評価することが可能であり、ACL 不全による運動の変化は内外側コンパートメントで異なることを明らかにすることができた。また、これまでの ACL 不全膝の運動解析では、対象に半月板損傷を伴った例が多く含まれていた。本研究では半月板損傷を伴わない ACL 単独損傷例のみを解析することで、ACL 不全が単独で膝運動に及ぼす影響を評価することができた。ACL は膝関節の安定性と正常な運動を保つことにおいて、重要な役割を担っていると考えられる。

審査結果の要旨

前十字靭帯 (ACL) 不全膝の運動を解析することは、運動の見地から見た ACL の役割や ACL 損傷に続発する半月板、軟骨障害のメカニズムを解明する上で重要である。近年では、三次元 (3D) / 二次元 (2D) レジストレーション法を用いた三次元的かつ動的な ACL 不全膝の運動の解析・評価が可能となった。そこで本研究では、3D/2D レジストレーション法を用いた ACL 単独損傷例の内外側コンパートメントにおける三次元的な膝運動を解析した。

対象は ACL 再建術施行前の症例のうち、半月板損傷のない 22 例とした。健患両側の下肢全長 Computed tomography (CT) を撮影し、大腿骨と脛骨の 3D 骨モデルを作成した。大腿骨内外側後顆を球に近似し、その各々の球の中心を結んだ線分を geometric center axis (GCA) と定義した。健患側両膝の立位から膝最大屈曲位までのスクワット運動を一方向透視 X 線で撮影し、その画像に 3D/2D レジストレーション法を用いて 3D 骨モデルをマッチングさせ、大腿脛骨間の三次元的な相対運動を計測した。

膝最大伸展位での GCA 端点の前後方向位置は、外側で患側が有意に後方に位置していた。GCA 端点の前後方向移動範囲は、内側では患側において有意な増大を認めた。健側膝のうちほぼ全例が、健常膝でみられるとされる medial pivot 運動を呈したのに対し、患側膝では 55% が medial pivot motion を、27% が lateral

pivot motion を呈し、残りの 18%では膝屈曲に伴い pivot pattern の変動が認められた。

本研究では半月板損傷を伴わない ACL 単独損傷例のみを解析することで、ACL 不全が単独で膝運動に及ぼす影響を評価することに成功した。また本手法により動的な膝運動を内外側コンパートメント毎に評価することができ ACL 不全による運動の変化は内外側コンパートメントで異なることを明らかにした。以上により、ACL 不全において 3D/2D レジストレーション法を用いた膝運動の動的解析の有用性を明らかにした点に学位論文としての価値を認める。