

歩行時における前十字靭帯不全膝の三次元動作解析 回旋中心の検討

大角 侑平¹⁾, 井野 拓実^{1,3)}, 小竹 諭¹⁾, 浮城 健吾¹⁾, 三浦 浩太¹⁾, 大森 啓司¹⁾,
吉田 俊教¹⁾, 前田 龍智²⁾, 鈴木 航²⁾, 大越 康充²⁾, 川上 健作⁴⁾, 鈴木 昭二⁵⁾

¹⁾函館整形外科クリニック リハビリテーション科, ²⁾函館整形外科クリニック 整形外科,
³⁾北海道科学大学 保健医療学部 理学療法学科, ⁴⁾函館工業高等専門学校 生産システム工学科,
⁵⁾公立はこだて未来大学 システム情報科学部 複雑系知能学科

key words 膝前十字靭帯損傷・評価・動作解析・歩行

【はじめに, 目的】

膝前十字靭帯 (ACL) 損傷後の長期経過における関節症性変化の発生が知られており, その一因として膝関節の異常運動が指摘されている。この異常運動を明らかにする事は膝関節に生じる機械的ストレスを推察し関節症性変化の発生メカニズムを解明する一助になると期待されている。ACL 損傷後の異常運動については“Quadriceps avoidance gait”や“Pivot-shift avoidance gait”など運動学および運動力学的な変化に関する報告が散見されるものの, 動的環境下における生体膝の回旋中心 (center of rotation, 以下 COR) の変化に関する報告は演者らが渉猟し得た限りない。本研究の目的は三次元動作解析装置を用いて歩行時における ACL 不全膝のキネマティクス, キネティクス, そして回旋中心を明らかにする事である。

【方法】

平成 21 年 4 月から平成 24 年 6 月までの期間に当院を受診した片側 ACL 損傷患者のうち, 動作解析を施行し得た 36 例の患側と健側を対象とした。内訳は男性 18 例, 女性 18 例, BMI $23.5 \pm 3.8 \text{ kg/m}^2$, 年齢 24.7 ± 12.8 歳, 受傷から計測までの期間は 6.7 ± 12.8 ヶ月であった。また健常成人ボランティア 20 例の 40 膝を対照群とした。内訳は男性 10 例, 女性 10 例, BMI $20.5 \pm 2.4 \text{ kg/m}^2$, 年齢 26.0 ± 5.7 歳であった。全ての対象者は Andriacchi らが報告したポイントクラスタ法に準じて体表マーカが貼付され, 赤外線カメラ (120Hz) と床反力計 (120Hz) により定常歩行が計測された。得られたデータは Qualisys Track Manager 3D にて処理し, ポイントクラスタ法に準じて膝関節の 6 自由度運動を算出した。キネマティクスデータは膝完全伸展位での自然立位をゼロ点とし, 一歩行周期を 100% として時系列を規格化した。また逆動力学計算により膝関節の外的モーメント (屈伸, 回旋, 内外反) を算出した。算出した関節モーメントは対象者ごとに身長と体重で標準化し, 立脚期を 60% として時系列を規格化した。COR は脛骨平面上に投影された transepicondylar axis (pTEA) と運動により変位した pTEA' の交点と定義した。COR については荷重応答期と立脚終期について検討した。これらのパラメーターについて ACL 不全群の患側, 健側そして対照群の 3 群間で比較検討した。統計解析には一元配置分散分析および事後検定として Tukey-kramer 法を用いた。なお有意水準は 5% に設定した。

【結果】

荷重応答期における患側の回旋中心は脛骨関節面中央より外側に 11.8cm, 前方に 1.1cm であり対照群 (外側 7.0cm, 前方 0.0cm) と比べて外側傾向かつ有意に前方であった。さらにこの時の患側の膝屈曲モーメントは $0.229 \pm 0.127 \text{ Nm/Bw} \times \text{Ht}$ であり対照群の $0.336 \pm 0.113 \text{ Nm/Bw} \times \text{Ht}$ と比べて有意に低値, 脛骨後方並進移動量は $1.1 \pm 0.5 \text{ cm}$ であり対照群の $0.8 \pm 0.5 \text{ cm}$ と比べて有意に高値であった。立脚終期において 3 群の回旋中心の間に有意差は認められなかった。しかしこの時の患側の膝屈曲角度は $13.3 \pm 7.1^\circ$ であり対照群の $9.3 \pm 5.2^\circ$ と比べて有意に高値, 脛骨内旋モーメントは $0.026 \pm 0.023 \text{ Nm/Bw} \times \text{Ht}$ であり対照群の $0.043 \pm 0.034 \text{ Nm/Bw} \times \text{Ht}$ と比べて有意に低値であった。脛骨の回旋角度については 3 群間に有意差は認められなかった。

【考察】

荷重応答期において ACL 不全膝の膝屈曲モーメントは有意に低値, かつ脛骨後方並進移動量は有意に高値であった。これにより大腿四頭筋活動により生じる脛骨の前方不安定性の発現を抑えていたことが推察された。この時, 荷重による脛骨内旋と代償動作の一つである脛骨後方並進により COR は前外方に位置するものと考えられた。立脚終期において ACL 不全膝は屈曲角度が有意に高値であり, かつ脛骨内旋モーメントが有意に低値であった。これらの特徴は Fuentes らが報告した ACL 不全膝に認められる“Pivot-shift avoidance gait”と同様の所見であり, これにより脛骨の前外側回旋不安定性の発現を抑えていたと考えられた。ACL 不全膝で認められたこれらの変化は脛骨大腿関節の軟骨接点を変化させ長期経過における関節症性変化の一因となる可能性があるかと推察された。

【理学療法学研究としての意義】

本研究結果は歩行時における ACL 不全膝のキネマティクス, キネティクス, そして回旋中心を示した。ACL 損傷後においては不安定性を代償するための異常運動が現れており, 長期経過における関節症性変化の一因となる可能性があると考えられた。