階段降段動作における健常者とACL損傷者との比較

—関節モーメントおよび筋電図学的考察—

Comparison between Normal Subjects and Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction (ACLR) during Stair Descent

—Discussion of Joint Moment and Electromyographic Activity—

山口 勝彦¹⁾ 鈴木 達也¹⁾ 野村 高弘¹⁾ 波多野大輔¹⁾
花山 大知¹⁾ 勝平 純司²⁾ 藤井菜穂子²⁾

KATSUHIKO YAMAGUCHI¹⁾, TATSUYA SUZUKI¹⁾, TAKAHIRO NOMURA¹⁾, DAISUKE HATANO¹⁾,
TAICHI HANAYAMA¹⁾, JUNJI KATSUHIRA²⁾, NAOKO FUJII²⁾

¹⁾ Undergraduate Student, International University of Health and Welfare

²⁾ Department of Physical Therapy, International University of Health and Welfare: 2600-1 Kitakanemaru, Otawara City, Tochigi 324-8501, Japan. TEL +81 287-24-3018

Rigakuryoho Kagaku 22(1): 49-54, 2007. Submitted Feb. 2, 2006. Accepted Sep. 4, 2006.

ABSTRACT: The purpose of this study was to examine differences of function at the knee joint between subjects with and without anterior cruciate ligament deficiency (ACLD) during stair descent, using a three dimensional motion analysis system and electromyography (EMG). Knee joint moment of subjects with ACLD showed a similar tendency in subjects without ACLD during stair descent. However, there were differences in EMG activities of the semitendinosus and soleus. Comparing the EMG activity of the semitendinosus between subjects with and without ACLD, the EMG activity in subjects without ACLD increased in the first half of the early stance phase; on the other hand, those in subjects with ACLD increased in the late stance phase. As for the soleus, the EMG activity in subjects without ACLD in the first half of the early stance phase was smaller than that in the late stance phase; however, that of subjects with ACLD showed larger activity in the first half of the early stance phase than in the late stance phase. These results suggest that the semitendinosus and soleus might compensate for the function of ACL during stair descent.

Key words: stair descent, ACL, electromyogram

要旨: 本研究の目的は3名の前十字靱帯損傷者（ACL損傷者）と3名の健常者における膝関節機能の違いを三次元動作分析装置と筋電計を用いた動作分析手法により明らかにすることである。階段降段時の膝関節伸展モーメントについては健常者とACL損傷者で傾向が一致していた。しかし、半腱様筋とヒラメ筋活動に関して健常者とACL損傷者では相違がみられた。半腱様筋の活動に関して比較すると、健常者は立脚後期の活動量が增大しているのに対し、ACL損傷者は立脚初期前半の活動量が增大していた。また、ヒラメ筋の活動量に関して、健常者は立脚後期に対する立脚初期後半の活動量の比率が小さいのに対し、ACL損傷者は立脚後期に対する立脚初期後半の活動量の比率が大きくなった。これらの結果は、半腱様筋とヒラメ筋が損傷したACLを補償していることを示唆した。

キーワード: 階段降段動作, ACL, 筋電図

¹⁾ 国際医療福祉大学 保健学部理学療法学科科学部生

²⁾ 国際医療福祉大学 保健学部理学療法学科：栃木県大田原市北金丸2600-1（〒324-8501）TEL 0287-24-3018

I. はじめに

我が国のスポーツにおける膝関節疾患の中で、前十字靱帯（以下ACL）損傷の占める割合が多く、その割合はおよそ60～80%に及ぶと言われている¹⁾。また、ACL再建例では平均13年の経過で67%に変形性膝関節症が生じていたという報告²⁾もあり、正常な膝運動機能の獲得が重要であると考えられる。

坂田らの研究では、ACL損傷者の歩行分析が行われており、ACL損傷者は健常者と比較し、立脚初期に膝関節伸展モーメントの低下が見られることが報告されている³⁾。一方で、日常生活で膝に大きな負担がかかると報告のある階段降段動作では、健常者とACL損傷者で膝関節伸展モーメントに相違がないと報告されている^{4,5)}。関節モーメントでは、関節中心を回転軸として発揮される筋のトルクを計測することができる。しかし、屈筋群と伸筋群によるモーメントを個別に計測することや、モーメントの構成要素である筋張力を知ることはいできない。McFadyenらは健常者の階段降段動作において関節モーメントと筋活動を関連づけた研究を行っているが、ACL損傷者の階段降段動作において関節モーメントと筋活動を関連づけた研究は行われていない⁶⁾。また、蟹沢らは階段降段動作の分析を2種類のACL再建術の術式の違いによってkinematicsの観点から行い、ACL再建後に大腿骨内外顆の接触点の変位量に相違があることを示唆している⁷⁾。そこで我々は、健常者とACL損傷者では階段降段時の膝関節伸展モーメントに相違は無いが、個々の筋張力を発揮する膝関節周囲筋の筋活動に相違があると仮説を立て、関節モーメントと筋活動の同時計測を実施した。

本研究では膝関節モーメントと膝周囲筋の筋活動を計測し、運動力学的観点から階段降段動作におけるACL損傷者の膝の運動に関する特徴点を明らかにすることを目的とした。

II. 対 象

対象者は事前にアンケートを実施し、下肢に既往がない若年健常男性3名（年齢：21.0±0歳，身長：172.3±1.5 cm，体重：67.0±3.0 kg）と右ACL単独損傷者（下肢に合併症のない若年男性）3名とした。ACL損傷者A（年齢：21歳，身長：169 cm，体重：70 kg）は、再建を腸脛靱帯と人工腱を併用した術式で行い、術後6年経過している。ACL損傷者B（年齢：19歳，身長：169 cm，体重：77 kg）は、再建を半腱様筋腱，薄筋腱を用いた術式（以下STG式）で行い、術後2年経過している。ACL損傷者C（年齢：

20歳，身長：177 cm，体重：72.5 kg）は、再建をSTG式で行い、術後4年経過している。

III. 方法

1. 三次元動作分析システムと床反力計

運動力学的データ計測のため、6枚の床反力計（AMTI社製）と8台の赤外線カメラを用いた三次元動作分析システムVICON612（VICONPEAK社製）を用いた。赤外線反射マーカーは臨床歩行分析研究会の推奨する方法を参照し、直径25 mmのマーカーを被検者の頭頂，外耳孔直上，肩峰，上腕骨外側上顆，尺骨茎状突起，上前腸骨棘，上前腸骨棘と大転子を結んだ線上の大転子側1/3の点，膝外側部（膝蓋骨の中央の高さで膝蓋骨を除く前後径の中心点），外果，第5中足骨趾節間関節の19箇所と，左右を区別するために，左側肩甲骨下角に1箇所の合計20箇所に貼付した。

三次元座標の計測可能空間は，床反力計設置部分を中心に左右2 m，進行方向5 m，鉛直方向2.5 mまで計測可能であり，8台の赤外線カメラの平均誤差は1.5 mm以内で赤外線反射マーカーの位置を計測することができる。

2. 筋電計

下肢における関節モーメントと筋活動の関係を解析するため右下肢に筋電計SX230（DKH社製）を用いた。

計測する筋は，脛骨の移動に関する先行研究より，大腿直筋，半腱様筋，腓腹筋内側頭，ヒラメ筋の4筋に電極を貼付した。これら4筋については，大腿直筋と腓腹筋は脛骨の前方移動に作用し，半腱様筋とヒラメ筋は脛骨の後方移動に作用するとの報告がある⁹⁾。

3. 計測用階段

高齢者の居住する住宅設計に係る指針を元に，踏面30 cm，蹴上16 cm，4段の計測用階段を作製した（図1）。左右の下肢における床反力を分けて計測するために，計測用階段を中央で分離し，床反力計の境界に合わせて設置した。なお，床反力計上に階段を設置するため，階段の重量を除くことを目的とし，階段設置後にキャリブレーションを行った。

4. 計測方法

階段降段動作は左下肢から開始し，右足趾接地から一歩行周期を計測した（図2）。一歩行周期は立脚相と遊脚相に分け，さらに立脚相は，右足趾接地から左足趾離地までの両脚支持期を立脚初期，右単脚支持期を立脚中期，

図1 計測用階段

図2 階段降段動作

左足趾接地から右足趾離地までの両脚支持期を立脚後期とした。また、三次元動作解析装置と筋電計は同期させ計測した。McFadyenの報告をもとに、三次元動作分析システムは120 Hzで計測し、筋電計は120 Hzで計測後、全波整流し、3 Hzでローパスフィルターをかけた後に、データ処理を行った⁶⁾。計測項目は関節モーメント、筋活動電位とした。階段降段動作の計測はそれぞれ計3回実施し、関節モーメントは各々計測した3回の平均値を算出し、それぞれの身長・体重で正規化した。筋電図は健常者の値は3名の平均値を、ACL損傷者は各々の平均値を算出した。

IV. 結果

1. 膝関節モーメント

健常者、ACL損傷者ともに右足趾接地時に膝関節屈曲モーメントが発揮され、その後、立脚初期では膝関節伸展モーメントが発揮され、立脚中期に膝関節伸展モーメントがピーク値を示した。健常者では膝関節モーメントを3者間で比較するとそれぞれの値の大小の開きが大きかったが、ACL損傷者においては小さかった。健常者の3名の平均値とACL損傷者の値を比較すると、波形パターンは一致していた (図3)。

2. 筋電図

筋活動においては、健常者・ACL損傷者ともに、立脚初期においてまず半腱様筋と腓腹筋内側頭が同時期に活動し (図5, 6)、その後、大腿直筋とヒラメ筋が同時期に活動していた (図4, 7)。以後、便宜上それぞれの筋活動の時期に合わせ、立脚初期を前半、後半に分ける。健常者とACL損傷者の間で大腿直筋においては、2相性の波形という点では一致しているが、その比率やピーク値を示す時期が異なっており、波形パターンに統一性は見られ

図3 階段降段動作における膝関節モーメント

図4 階段降段時の筋電図① (大腿直筋)

図5 階段降段時の筋電図② (半腱様筋)

なかった。腓腹筋内側頭においては、健常者とACL損傷者の間で波形パターンに相違はみられなかった。一方、半腱様筋とヒラメ筋においては、健常者とACL損傷者の間で波形パターンに相違がみられた (図5, 7)。

立脚初期前半において、半腱様筋と腓腹筋内側頭の筋活動電位が大きな値を示す時期は一致していたが (図5, 6), 半腱様筋において立脚初期前半と立脚後期を比較す

ると、健常者は立脚後期で筋活動電位がピーク値を示したのに対し、ACL損傷者は立脚初期前半で筋活動電位がピーク値を示した (図5)。

立脚初期後半において、大腿直筋とヒラメ筋の筋活動電位が大きな値を示す時期は一致していたが (図4, 7), ヒラメ筋において立脚初期後半と立脚後期を比較すると、健常者・ACL損傷者それぞれのヒラメ筋の立脚後期

図6 階段降段時の筋電図③ (腓腹筋内側頭)

図7 階段降段時の筋電図④ (ヒラメ筋)

の筋活動電位を1としたときの立脚初期後半の筋活動電位の比率が、健常者は約1.2だったのに対し、ACL損傷者は約2と相違がみられた (図7)。

V. 考 察

今回、階段降段時の膝関節モーメントにおいて、健常者3名の波形ではそれぞれの値の大小の開きが大きかつ

たが、ACL損傷者3名の波形では小さいという結果が得られた。これは、健常者は膝関節に既往がなく動作の自由度が高く、一方でACL損傷者は脛骨の前方移動に関する抑制機能が低下しており、ACLを補償するような特有な動作を行っているためだと考えられる。しかし、健常者の3名の平均値とACL損傷者の値を比較すると、波形パターンは一致していた。また、立脚初期前半では膝関節屈曲モーメントが発揮され、立脚初期後半では膝関節伸

展モーメントが発揮されていた。

しかし、半腱様筋とヒラメ筋の筋活動電位に関して、健常者とACL損傷者では相違がみられた。半腱様筋の筋活動電位に関して、立脚初期前半と立脚後期を比較すると、健常者は立脚後期で筋活動電位がピーク値を示したのに対し、ACL損傷者は立脚初期前半で筋活動電位がピーク値を示した。また、ヒラメ筋の筋活動電位に関して、立脚後期に対する立脚初期後半の筋活動電位の比率が健常者に対し、ACL損傷者は大きいという結果が得られた。

階段降段動作において、立脚初期前半は足趾接地時の衝撃吸収を足関節で行っているとされている。これは、結果より腓腹筋の活動によって行っていると考えられる。腓腹筋は膝関節をまたぐ二関節筋であるため、活動時には足関節のみならず膝関節にも影響を及ぼしていると考えられる。先行研究では、腓腹筋が活動すると脛骨は大腿骨に対して前方へ移動すると報告されている⁹⁾。一方、半腱様筋が活動すると脛骨は大腿骨に対して後方へ移動すると報告されている⁹⁾。よって立脚初期前半では、足趾接地時に腓腹筋が活動し衝撃吸収を行う際、脛骨が前方へ引き出されるのを半腱様筋の活動によって抑制していると考えられる。続いて立脚初期後半では膝関節・足関節で接地時の衝撃吸収をしているとされている。これは、結果より大腿直筋とヒラメ筋の活動によって行っていると考えられる。先行研究では、大腿直筋が活動すると脛骨は大腿骨に対して前方に移動すると報告されている⁹⁾。一方、ヒラメ筋が活動すると脛骨は後方に移動すると報告されている⁹⁾。よって、立脚初期後半では大腿直筋・ヒラメ筋が活動し衝撃吸収を行い、また大腿直筋の

活動により脛骨が前方に引き出されるのをヒラメ筋の活動によって抑制していると考えられる。これらの結果からACL損傷者は、ACLの脛骨の前方移動に関する抑制機能が低下しているため、半腱様筋・ヒラメ筋の筋活動電位を増大させることで損傷したACLの機能を補償していることが示唆された。

引用文献

- 1) 黒田善雄:最新スポーツ医学. 文光堂, 東京, 1994, pp424-425.
- 2) 大森 豪, 瀬川博之, 古賀良生: 前十字靱帯損傷および前十字靱帯再建膝における変形症性変化. 臨床スポーツ, 2001, **18**(5): 505-509.
- 3) 坂田 清, 石橋俊郎, 高木博史: VMC による歩行解析 (1) 一前十字靱帯損傷者における歩行一. 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 1996, **17**: 235-239.
- 4) 勝平純司, 山本澄子, 丸山仁司・他: 階段およびスロープ昇降時の関節モーメントの分析. バイオメカニズム, 2004, **17**: 99-107.
- 5) Patel RR, Hurwitz DE, Bush-Joseph CA, et al.: comparison of clinical and dynamic knee function in patients with anterior cruciate ligament deficiency. Am J Sports Med, 2003, **31**(1): 68-73.
- 6) Mcfadyen BJ, Winter DA: An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent. J Biomech, 1988, **21**(9): 733-744.
- 7) 蟹沢 泉, 守屋秀繁, Banks AZ: X線透視を用いた3次元膝動作解析—前十字靱帯再建後の階段降段動作について—. 日本整形外科学会雑誌, 1998, **72**(8): 1406.
- 8) Delagi EF, Perotto A (著), 田島達也 (監訳), 栢森良二 (訳): 筋電図のための解剖ガイド. 西村書店, 新潟, 1985, pp146-187.
- 9) Elias JJ, Faust AF, Chu HY, et al.: The soleus muscle acts as an agonist for the anterior cruciate ligament. Am J Sports Med, 2003, **31**(2): 241-246.