

足関節機能が階段降段動作時の膝関節機能に及ぼす影響

松本 渉¹⁾, 永山 智貴¹⁾, 小西 倫太郎¹⁾, 林 愛子¹⁾,
神田 佳明¹⁾, 垣村 将典¹⁾, 木村 篤史²⁾, 富田 健一²⁾, 松本 和久²⁾

¹⁾ 明治国際医療大学附属病院 総合リハビリテーションセンター

²⁾ 明治国際医療大学 保健医療学部 臨床柔道整復学Ⅲユニット

要旨:

【はじめに】

変形性膝関節症患者は正座, 平地歩行, 及び階段降段動作において疼痛を訴えることが多い。正座は生活様式の変更により解消が容易であるが, 段差昇降については家屋構造により解消が困難な場合がある。降段動作における膝関節伸筋群, と足関節底屈筋群の関連性, また足関節底屈角度の差異について述べられた先行研究が存在し, 今回, 我々は階段降段動作の三次元動作解析を行い, 足関節と膝関節の関節角度変化と筋活動の関連性を検証することを目的に本研究を実施した。

【対象】

下肢の関節可動域制限と神経症状を有さない男性5名の右5肢とした。

【方法】

4段の階段を, ①対象が通常行っている動作 (以下, コントロール), ②立脚期に腓腹筋の収縮により足関節を底屈させて行う動作 (以下, 底屈位降段動作), ③立脚期の腓腹筋の収縮を減少させ足関節を背屈位にさせて行う動作 (以下, 背屈位降段動作) の三条件で降段させ, 三次元動作解析装置と床反力計を用いて膝関節と足関節の関節角度変化を計測した。左下肢が降段し床反力計が反応した時点での膝関節と足関節の関節角度を算出した。また, これと同期して表面筋電計を用い, 外側広筋と腓腹筋内側頭の筋活動を計測し, 底屈位降段動作時と背屈位降段動作時のコントロールの値に対する1秒間の平均積分筋電量 (以下, %AEMG) を求め, 比較した。統計学的処理はSPSS ver 11.0J for Windowsを用いて, 各条件間で一元配置分散分析を行った後, 多重比較としてTukey検定を行い, 有意水準は5%とした。

【結果】

コントロール及び, 背屈位降段動作において足関節は背屈位を呈し, 底屈位降段動作においては底屈位を呈した。膝関節の屈曲角度は, コントロールより背屈位降段動作のほうが有意に高値を示した。腓腹筋の%AEMGはコントロール, 背屈位降段動作に比べ底屈位降段動作において有意に高値を示し, 外側広筋の%AEMGは背屈位降段動作において有意に高値を示した。

【考察】

今回の結果において, 足関節可動域と腓腹筋の%AEMGがコントロールと底屈位降段動作及び, 底屈位降段動作と背屈位降段動作の間で有意差を認めたことから, 足関節の運動に制限を設けた条件での研究が成立したものと見える。また, 降段動作において, 足関節の底屈機能の低下が膝関節の屈曲角度の増加と外側広筋の筋活動の増加につながる事が示唆された。降段動作において最も大腿四頭筋が活動するのは足趾接地から立脚中期の間であるが, 実際の臨床現場では, 多くの患者は立脚中期から反対側の足趾接地の間で疼痛を訴える。本研究により, 降段動作において疼痛を訴える変形性膝関節症患者に対し, 大腿四頭筋の筋力強化だけでなく, 足関節の底屈機能を評価する必要があると考えられた。

【はじめに】

変形性膝関節症による運動障害は, 正座に伴う疼痛から始まり, 階段を降りる時, さらに平地歩行においても疼痛が出現するようになるため, そのリハビリテーションにおいては特に大腿四頭筋の筋力強化が行われる¹⁾。McFadyenらは健常者の階段降段動作を解析した結果, 膝関節伸筋群は足関節底屈筋群と連動して, 降段動作における支配的な役割をしているとしている²⁾。またProtopapadakiらは, 動作解析により階段昇段動作と階段降段動作を比較した結果, 階段降段動作は階段昇段動作よりも足関節の背屈・底屈角度が増加すると報告している³⁾。これらのことから, 膝関節の機能障害によって障害される階段降段動作は, 膝関節の機能障害によってのみ生じるのではなく, 足関節の機能障害と関連して生じている

可能性がある。

そこで今回, 足関節の運動に制限を設けた条件での階段降段動作の三次元動作解析を行い, 足関節と膝関節の関節角度と筋活動の関連性を検証することを目的に本研究を実施した。

【対象】

下肢の関節可動域制限と神経症状を有さない男性5名の右5肢を対象とした。対象の平均年齢は 25.0 ± 4.9 歳, 平均体重は 66.8 ± 14.7 kg, 平均身長は 173.6 ± 7.0 cmであった。対象となった被験者には事前に本研究の主旨と本研究によって得られた個人情報管理について十分に説明をするとともに, 本人の意思でいかなる時でも本研究より辞退出来る旨について説明を行い, 同意を得た上で実施した。本研究は明治国際医療大学研究倫理委員

会にて承認を得て実施した（承認番号21-88）。

【方法】

高さ14.5cm、幅72.0cm、有効幅40.0cmの4段の計測用階段（図1）を作製し、2段目と3段目に床反力計（Kistler社製,9286A）を設置した。この階段を用いて三つの条件で降段動作を行い、三次元動作解析を用いて膝関節と足関節の関節角度、および外側広筋と腓腹筋内側頭の筋活動を測定した。降段動作の条件は、対象が通常行っている動作（以下、コントロール）、立脚期に腓腹筋の収縮により足関節を底屈させて行う動作（以下、底屈位降段動作）、立脚期の腓腹筋の収縮を減少させて足関節を背屈位にさせて行う動作（以下、背屈位降段動作）とし、いずれも右下肢より降段させた。なお、背屈位降段動作は、MEGA社製表面筋電計6000T8を用いて腓腹筋の収縮状態を確認しながら行った。

三次元動作解析は、対象に身体に密着した帽子、Tシャツ、ハーフスパッツを着用させ、頭部4か所、胸骨柄、剣状突起、第7頸椎、第10胸椎に各1か所、左右の肩峰、上腕中央、上腕骨外側上顆、前腕中央、橈骨茎状突起、尺骨茎状突起、中指中手指節関節、上前腸骨棘、上後腸骨棘、大腿中央、大腿骨外側上顆、下腿中央、外果、踵部、母趾中足趾節関節の合計38か所に反射マーカを貼付し（図2）、三条件での降段動作時の反射マーカ位置をOxford Metrics社製VICON512、Oxford Metrics社製Workstation4.6を用いて計測した。その後、Oxford Metrics社製 Polygon2.4を用いて、右立脚期で左大腿部が右下肢を通過する時点から左下肢が降段し床反力計が反応する時点まで（図3）のうち、左下肢が降段し床反力計が反応した時点での膝関節と足関節の関節角度を算出

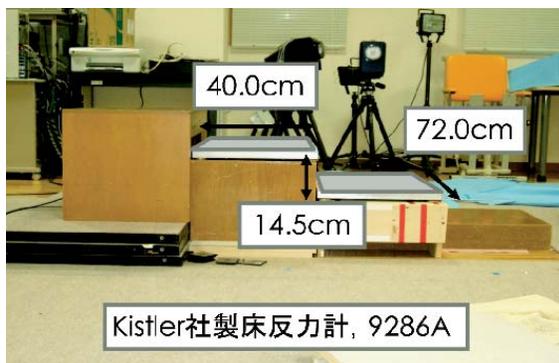


図1：高さ14.5cm、幅72.0cm、有効幅40.0cmの4段の計測用階段

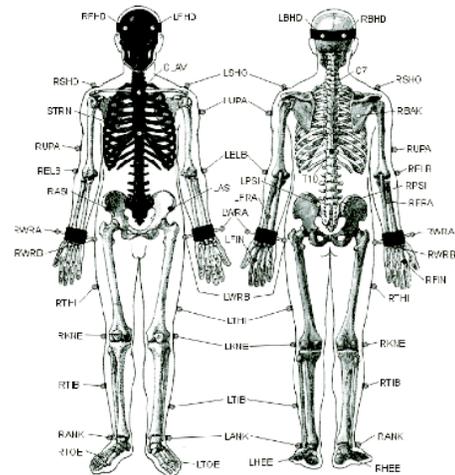


図2：マーカ貼付位置
plug in gaitマーカセット全身モデルを使用

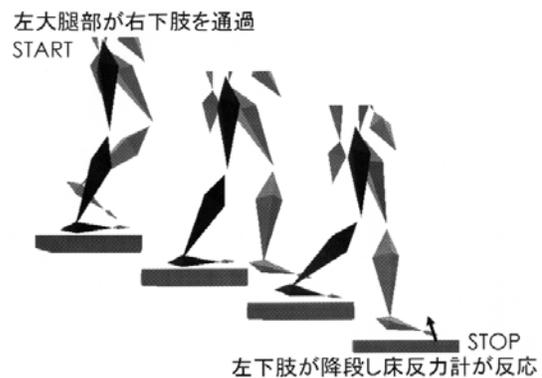


図3：降段動作における右立脚期

した。なお足関節の関節角度において、足関節底屈位を正の整数で表記し、足関節背屈位を負の整数で表記した。

またこれと同期して、NORAXON社製MYOSYSTEM1200を用いて右側の外側広筋と腓腹筋内側頭の筋活動を計測し、底屈位降段動作時と背屈位降段動作時の、コントロールの値を100%とする1秒間の平均積分筋電量（% Average Electromyography；%AEMG）を求め、比較した。

統計学的処理はSPSS11.0J for Windowsを用いて、各条件間で一元配置分析を行い多重比較としてTukey検定を行った。有意水準は5%とした。

【結果】

底屈位降段動作の腓腹筋の%AEMGは364.7±242.5、背屈位降段動作の腓腹筋の%AEMGは104.1±35.0であり、コントロールと底屈位降段動作（ $p=0.030$ ）、背屈位降段動作と底屈位降段動作（ $p=0.032$ ）の間にそれぞれ有意な筋活動の増加を認めた（図4）。また、底屈位降段動作の外

側広筋の%AEMGは 244.2 ± 137.0 、背屈位降段動作の外側広筋の%AEMGは 376.8 ± 188.3 であり、背屈位降段動作の外側広筋はコントロールの外側広筋と比較して有意な筋活動の増加を認めた ($p=0.018$) (図5)。

一方、足関節の底屈角度は、コントロールは $-38.6 \pm 3.2^\circ$ 、底屈位降段動作は $1.1 \pm 10.5^\circ$ 、背屈位降段動作 $-32.9 \pm 4.3^\circ$ であり、コントロールと底屈位降段動作 ($p=0.000002$)、背屈位降段動作と底屈位降段動作 ($p=0.00001$) の間に有意差を認めた (図6)。また、膝関節の屈曲角度は、コントロールは $51.9 \pm 5.6^\circ$ 、底屈位降段動作は $68.0 \pm 9.1^\circ$ 、背屈位降段動作は $79.5 \pm 17.8^\circ$ で、コントロールに対する背屈位降段動作の膝関節屈曲角度は有意に増加していた ($p=0.009$) (図7)。

【考察】

今回の結果において、腓腹筋の%AEMGがコントロールと底屈位降段動作、および底屈位降段動作と背屈位降段動作の間で有意差を認めたこと、ならびに足関節の関節角度がコントロールと底屈位降段動作、底屈位降段動作と背屈位降段動作の間で有意差を認めたことから、足関節の運動に制限を設けた条件での研究が成立したものと見える。その上で、膝関節の屈曲角度がコントロールに対して背屈位降段動作において有意に増加し、かつコントロールと比較して背屈位降段動作の外側広筋の活動量が有意に増加したことは、降段動作において足関節の底屈機能の低下が膝関節の屈曲角度の増加と外側広筋の筋活動の増加につながることを意味していると考えられる。

変形性膝関節症による運動障害は、正座に伴う疼痛から始まり、階段を降りる時、さらに平地歩行においても疼痛が出現するようになるため、そのリハビリテーションにおいては特に大腿四頭筋の筋力強化が行われるとされている¹⁾。しかし、降段動作において最も大腿四頭筋が活動するのは足趾接地から立脚中期の間である⁴⁾が、実際に患者が疼痛を訴える時期は立脚中期から反対側の足趾接地の間で生じる場合が多い。今回の研究では、この時期の膝関節角度が足関節の底屈の減少により増加し、外側広筋の筋活動が増加することが明らかになったことから、降段動作において疼痛を訴える変形性膝関節症患者のリハビリテーションにおいては、大腿四頭筋の筋力強化だけでなく、足関節の底屈機能を評価する必要があると考えられた。

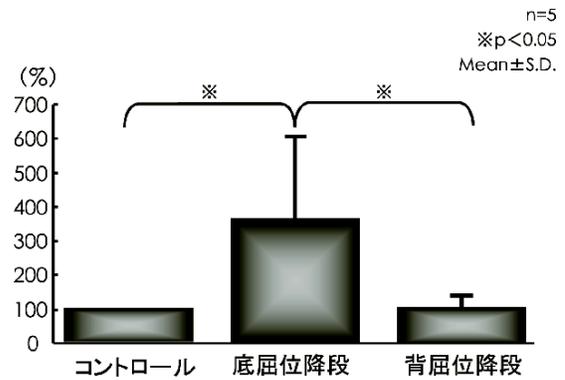


図4：腓腹筋内側頭の%AEMG

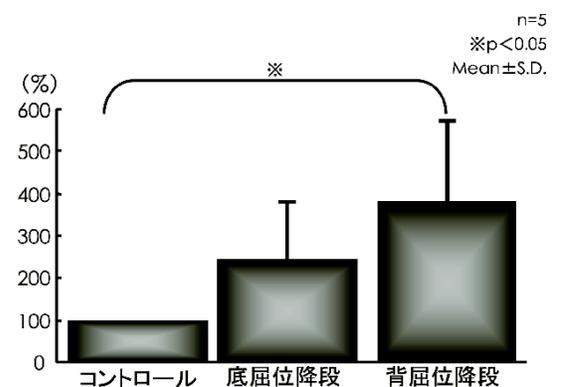


図5：外側広筋の%AEMG

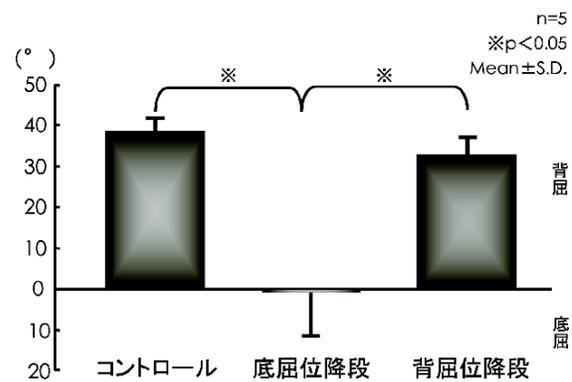


図6：足関節底屈角度

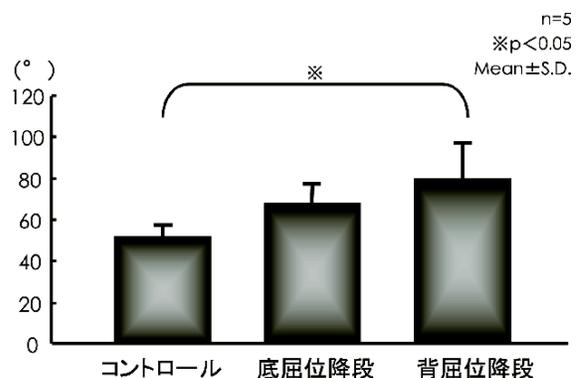


図7：膝関節屈曲角度

【参考文献】

- 1) 平澤泰介編著：新外来の整形外科学，南山堂，東京，pp393，2005.
- 2) McFadyen BJ, Winter DA : An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent. *J Biomech* 21(9) : 733-744, 1988.
- 3) Protopapadaki A, Drechsler WI, Cramp MC, et al: Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals. *Clin Biomech* Feb22(2) : 203-210, 2007.
- 4) 山口 勝彦, 鈴木 達也ら：階段降段動作における健常者とACL損傷者との比較. *理学療法科学*, 2007, 22(1), 49-54.