

Modified drop squat の運動力学的分析

— 衝撃吸収機能の動的評価 —

○木村 佳記(きむら よしのり) (PT)¹⁾, 近藤 さや花 (PT)²⁾, 小柳 磨毅 (PT)³⁾, 向井 公一 (PT)⁴⁾,
中江 徳彦 (PT)²⁾, 里田 由美子 (PT)²⁾, 武 靖浩 (MD)⁵⁾, 下村 和範 (MD)⁵⁾, 中田 研 (MD)⁵⁾, 前 達雄 (MD)⁶⁾

¹⁾ 大阪大学医学部附属病院 リハビリテーション部

²⁾ 関西メディカル病院 リハビリテーション科

³⁾ 大阪電気通信大学 医療福祉工学部 理学療法学科

⁴⁾ 四條畷学園大学 リハビリテーション学部

⁵⁾ 大阪大学大学院 医学系研究科 健康スポーツ科学

⁶⁾ 大阪大学大学院 医学系研究科 器官制御外科学

緒 言

我々は、膝前十字靭帯 (anterior cruciate ligament: ACL) 再建術後の jogging (Jog) 許可直後において、Jog の足底接地 (foot strike) から踵が地面から離れるまで (mid support) の位相での膝関節屈曲が不足して膝伸展域での着地となる特徴から、支持脚における衝撃吸収機能が低下することを明らかにした¹⁾。ところで、臨床評価として single leg squat (SLS) の姿勢観察が行われるが、SLS は行っても Jog での衝撃吸収が不良な例があるため、Jog の前段階において、衝撃吸収を必要とする評価が必要と考え

た。そこで、爪先立ちからの急激な下降動作で踵接地を生じさせ、膝の屈曲で衝撃を吸収する modified drop squat (以下 MDS) を考案した (図1)。

先行研究において、SLS, MDS, Jog の床反力垂直成分 (F_z) は、SLS では下降動作に伴う変化が緩やかであるのに対して、MDS と Jog では踵接地直後に急激な増加を示し、衝撃が発生していた。膝関節伸展モーメントも同様の傾向を示し、床反力を含めた力の指標では、MDS は波形特性が Jog と類似するが、一方で負荷量は小さいことが明らかとなった²⁾。しかし、エネルギー吸収を反映する関節パワーから見た衝撃吸収機能は明らかではなく、その分析が必要と考えられた。

本研究の目的は、MDS の下肢関節の吸収パワーの発揮は SLS とは異なり Jog と類似するとの仮説を検証し、MDS が Jog の前段階の評価とトレーニングになり得るか、下肢の関節パワーと足圧中心軌跡 (center of pressure: COP) による衝撃吸収機能の分析から検討することである。

対 象

下肢に傷害既往のない健常成人9名 (男性6名, 女性3名) を対象とした。年齢 20.3 ± 0.7 歳, 身長 167.7 ± 9 cm, 体重 61.8 ± 7.3 kg であった。被験者には本研究の主旨を説明し、実験への参加に同意を得た。尚、本研究は大阪大学医学部附属病院の倫理審査委員会の承認を受けたものである (承認番号 15227)。

方 法

右脚を検査側とし、運動課題は、SLS, 片脚の MDS, Jog とした。SLS は立位、MDS は爪先立ちから動作を開始



図1. Modified drop squat (片脚)

爪先立ちから脱力して下降し、踵接地の衝撃を下肢関節の屈曲により制動する。

した。MDSは可能な限り脱力して下降した後には制動するように指示した。SLSとMDSは右脚を支持脚とし、姿勢は、体幹屈曲20°、膝関節屈曲60°、運動速度はメトロノーム(92bpm)で規定(1拍で下降、1拍で上昇)した。Jogは、10mを時速8~9kmで走行した。

運動計測には、8台のカメラで構成される三次元動作解析装置(OMG社製VICON NEXUS 1.6.1)と床反力計(AMTI社製OR-6)を用いた。指標には、合計39点で構成されるPlug in Gait Marker setを用いた。指標データは200Hz、床反力データは1000Hzでサンプリングした。

評価項目は、1) COPの前後方向の軌跡、2) 支持脚の矢状面上の関節パワー(股、膝、足関節)とし、解析には、解析ソフト(VICON NEXUS 1.6.1)を用いた。関節パワーは、吸収パワーに着目して評価した。分析区間は、SLSとMDSは下降動作、Jogは踵接地からmid support(踵が地面から離れるまで)とした。全課題において、分析区間を100%として正規化した全被験者のデータを加算平均してグラフ化し、下降動作初期および接地初期の波形を評価した。

結 果

1) COPの前後方向の軌跡

COPの軌跡は、SLSは比較的一定、MDSは前方から後方へ移動、Jogは後方から前方へ移動し、それぞれ異なる動態を示した(図2)。

2) 支持脚の矢状面上の関節パワー(図3)

股関節の吸収パワーは、SLSでは動作前半では作用せず、MDSとJogでも接地初期の吸収パワーの発揮が乏しかった。膝関節の吸収パワーは、SLSでは緩徐に増加したが、MDSとJogでは踵接地直後に急激に増加した。足関節の吸収パワーは、SLSでは発揮が少なく、MDSは踵接地から減少した。Jogでは踵接地直後は発揮がなく後半に増大した。

考 察

先行研究において、床反力垂直成分(F_z)と膝伸展モーメントは、SLSでは緩徐に増加するが、MDSとJogでは急激に増加し、衝撃が生じて膝伸筋負荷が高まることが報告されている²⁾。今回、エネルギー吸収を反映する下肢関節の吸収パワーと、床反力の作用点であるCOPから各動作の特性を検討した。COPの後方移動により足関節の底屈モーメントは減少、膝関節の伸展モーメントは増大し、COPの前方移動ではその逆となった。関節の吸収パワーは、これらの関節モーメントの増加により高まった。

SLSは、踵接地の衝撃がなくCOPは比較的一定の位置にあり、各関節パワーも緩徐に増加する特性を示したことから、他の課題に比べて急激な負荷の増大がない運動と位置付けられた。MDSは、爪先立ちではCOPが前方に位置し、足関節パワーが高まり、そこから踵接地によりCOPが急激に後方移動して足関節パワーは減少し、膝関節パ

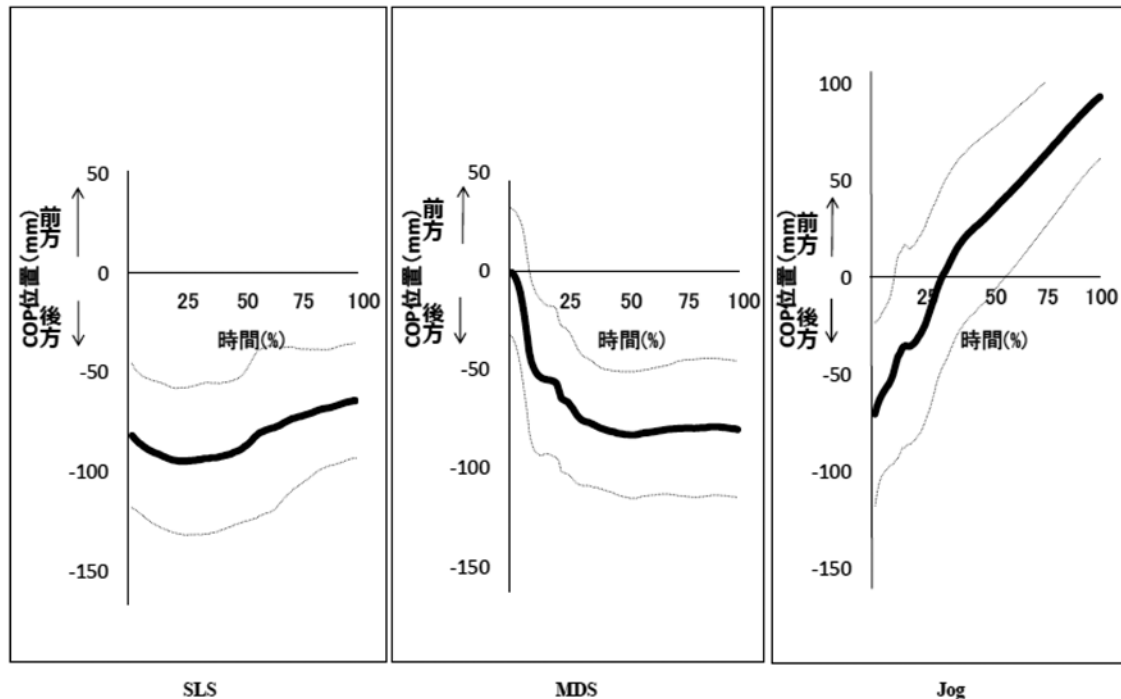


図2. COPの前後方向の軌跡

床反力計の中央に対するCOP位置の変化における被験者全員の標準偏差付き平均グラフ。分析区間は、SLSは立位から最下降位、MDSは踵接地から最下降位、Jogは踵接地からmid support。

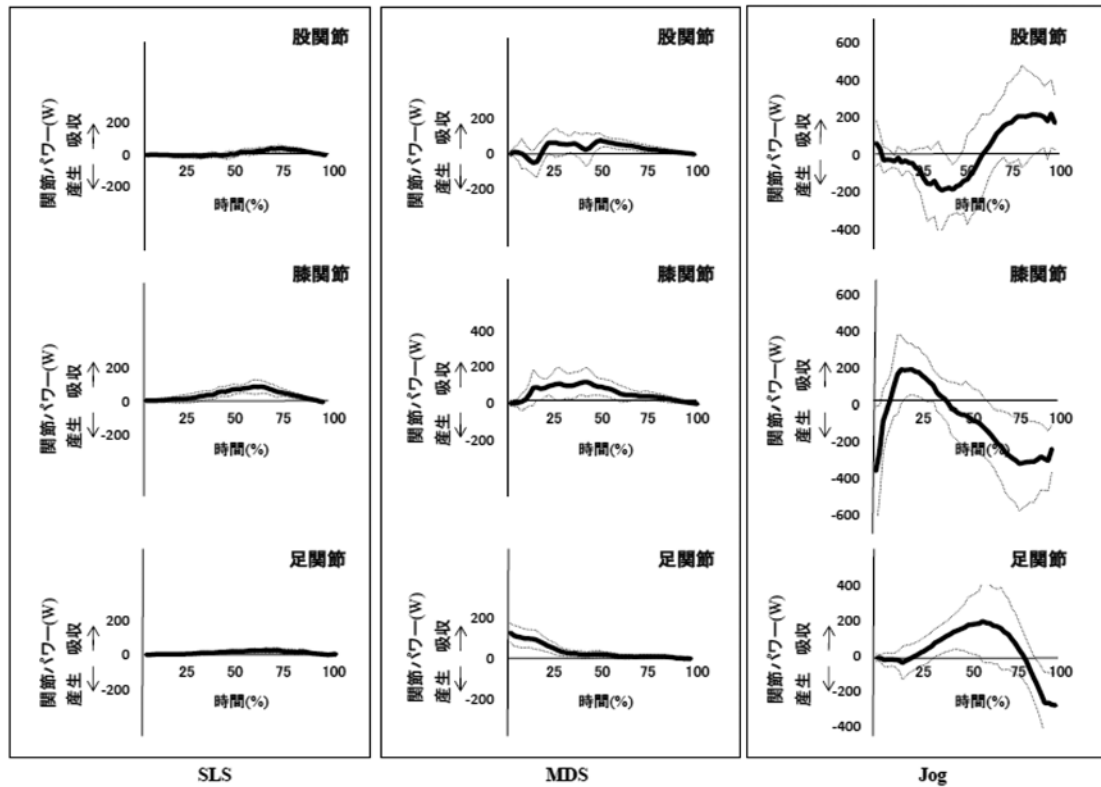


図3. 支持脚の矢状面上の関節パワー

被験者全員の標準偏差付き平均グラフ。分析区間は、SLSは立位から最下降位、MDSは踵接地から最下降位、Jogは踵接地からmid support。

ワーが急激に高まって衝撃を吸収する運動と考えられた。Jogは、踵接地からmid supportに向けて、COPは後方から前方に移動した。このため、踵接地に伴い膝関節パワーが急激に発揮されて衝撃を吸収し、COPの前方移動につれて足関節パワーの発揮へ移行したと考えられた。

以上より、MDSは、爪先立ちから動作が開始されることから、足関節パワーから膝関節パワーの発揮へ移行する特性はJogと異なった。しかしこれは、Fzや膝関節伸展モーメントなど、膝関節への力学的負荷がJogより小さくなること²⁾に寄与すると考えられる。一方で、MDSとJogは、踵接地の衝撃を膝関節パワーの急激な発揮により吸収する特性が共通することが明らかとなった。したがって、MDSは、下肢関節の吸収パワーの発揮が緩徐なSLSに比べて、膝関節の吸収パワーの発揮による衝撃吸収が要求されるJogと力学的に類似点を持つ運動課題であり、一方、力学的負荷はJogより小さいため、Jogの前段階での

衝撃吸収機能の動的評価やトレーニングになり得ると考えられた。

結 語

MDSは爪先立ちからの踵接地によるCOPの後方移動により足関節から膝関節パワーの発揮へ移行して衝撃を吸収する特性を持ち、Jogの前段階の評価になり得る。

参考文献

- 1) 構井健二, 小川卓也, 倉持由惟, 他. 前十字靭帯再建術後症例におけるジョギング許可直後の運動特性. 日本理学療法学会大会抄録集 2013: 0131.
- 2) 近藤さや花, 木村佳記, 中江徳彦, 他. 衝撃吸収機能の評価としての改変ドロップスクワットの運動解析. 日本臨床バイオメカニクス学会抄録集 2015: 157.