

## Modified drop squatとジョギングおよび 片脚ドロップジャンプ着地の運動力学的比較

○近藤 さや花 (こんどう さやか) (PT)<sup>1)</sup>, 木村 佳記 (PT)<sup>2)</sup>, 前 達雄 (MD)<sup>3)</sup>, 向井 公一 (PT)<sup>4)</sup>,  
中江 徳彦 (PT)<sup>1)</sup>, 里田 由美子 (PT)<sup>1)</sup>, 中田 研 (MD)<sup>5)</sup>, 小柳 磨毅 (PT)<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> 関西メディカル病院

<sup>2)</sup> 大阪大学医学部附属病院

<sup>3)</sup> 大阪大学大学院 医学系研究科 整形外科

<sup>4)</sup> 四條畷学園大学

<sup>5)</sup> 大阪大学大学院 医学系研究科 スポーツ医学

<sup>6)</sup> 大阪電気通信大学 医療福祉工学部

### 緒 言

我々は、膝関節手術後リハビリにおいて、Jogging (Jog) の前段階における衝撃吸収機能トレーニングとして、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<sup>1),2)</sup>。そして、MDSは、Jogと比較して膝関節の運動力学的特性は類似するが、力学的負荷量は有意に小さい一方、片脚スクワットとは膝関節の運動力学的特性は異なるが、力学的負荷量には有意差がない<sup>3)</sup>ことを明らかにした。このため我々は、MDSを、片脚スクワットとJogの中間的なトレーニングとして位置づけている。一方、スポーツ活動で頻度の高いジャンプ着地は、Jogと同様に衝撃吸収機能を必要とする動作であるが、その開始時期には明確な基準はない。そこで本研究の目的は、ジャンプ着地の運動力学的特性をMDSとJogと比較検討してその位置づけを明らかにし、課題達成型の理学療法プログラムを確立することである。

### 方 法

下肢に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。年齢は $20.3 \pm 0.7$ 歳、身長は $165 \pm 10$ cm、体重は $62 \pm 7$ kgであった。被験者には本研究の主旨を説明し、実験への参加について同意を得た。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て実施した(承認番号15227)。右脚を検査側とし、片脚MDS、Jog、片脚でのジャンプ着地(single leg drop jump landing: SDL)を運動課題とした。MDSは体幹屈曲 $20^\circ$ 、膝関節屈曲 $60^\circ$ で行い、爪先立ちから動作を開始し、可能な限り脱力して下降した後に停止するように指示した

(図1)。なお運動速度はメトロノーム(92bpm)で規定し、1拍で下降、1拍で上昇することとした<sup>3)</sup>。Jogは、一般に踵接地が生じるとされる時速 $8 \sim 9$ km<sup>4)</sup>で10m走行した。SDLは、上肢を腕組みし、体から離さないようにして高さ10cmの台から飛び降り、30cm前方に片脚で着地し、下肢の屈曲位を維持しつつ、できる限り静止するよう指示した<sup>5)</sup>。

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(MSA-6, AMTI)を用いた。指標には、合計39点で構



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。

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。データ解析には、解析ソフト (Vicon Nexus 1.6.1) を用いた。評価項目は、1) 支持脚の床反力垂直成分 (Fz)、2) 膝関節モーメント (内部モーメント)、3) 膝関節パワーとした。分析区間は、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)、SDL は MDS の下降動作の平均時間に合わせ、着地後 0.65 秒までとした。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、波形を分析した。また、各パラメータの最大値の平均値を算出した。統計処理は、3 群間の比較に Friedman 検定と Scheffe の多重比較を用い、有意水準を 5% 未満とした。

## 結 果

### 1) 支持脚の床反力垂直成分 (Fz)

MDS と Jog は踵接地後にスパイク波形を示し、その後増加してピークに達した。SDL は接地の瞬間から大きなスパイク波形を生じてピークに達した後、漸減する波形を示した (図 2)。

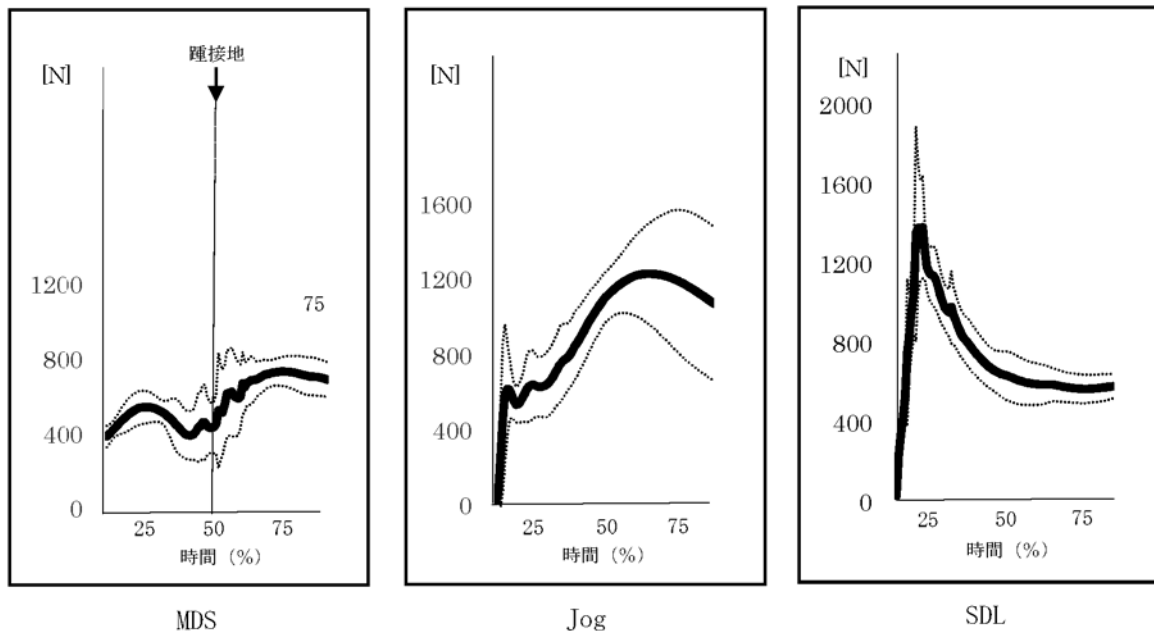


図 2. 支持脚の床反力垂直成分 (Fz)

表 1. 各パラメータの最大値

	MDS	Jog	SDL	Post hoc test
Fz (N)	870 ± 164	1318 ± 130	1863 ± 383	MDS < Jog*, MDS < SDL**
膝関節伸展モーメント (Nm/kg)	1.1 ± 0.4	1.9 ± 0.7	2.2 ± 0.3	MDS < SDL**
膝関節パワー (吸収性) (W/kg)	3.2 ± 0.5	4.2 ± 2.0	11.2 ± 3.9	Jog < SDL*, MDS < SDL**

\* P < 0.05, \*\* P < 0.01

各動作の最大値の平均は、SDL、Jog、MDS の順に大きく、3 群間に有意差を認めた (P < 0.01)。多重比較の結果、SDL、Jog は MDS より有意に大きかった (P < 0.05) (表 1)。

### 2) 膝関節モーメント

全動作において、踵接地直後に伸展方向に急激に増加する波形を示した (図 3)。各動作の最大値は、3 群間に有意差を認めた (P < 0.01)。多重比較の結果、MDS に比べて Jog、SDL は有意に高値を示した (P < 0.05) (表 1)。

### 3) 膝関節パワー

全動作において、踵接地直後に吸収性のパワーが急激に増加する波形を示し、膝関節での衝撃吸収が行われていた (図 4)。各動作の最大値は、3 群間に有意差を認めた (P < 0.01)。多重比較の結果、MDS と Jog に有意差がなく、SDL が他の 2 群より有意に高値を示した (P < 0.05)。

## 考 察

本研究より MDS は、接地衝撃を膝関節で吸収する力学的特性を持つが、各力学的指標における負荷量は最も小さく、Jog および SDL よりも前段階のトレーニングに位置づけられた。臨床においては、MDS を安定させた後、Jog や

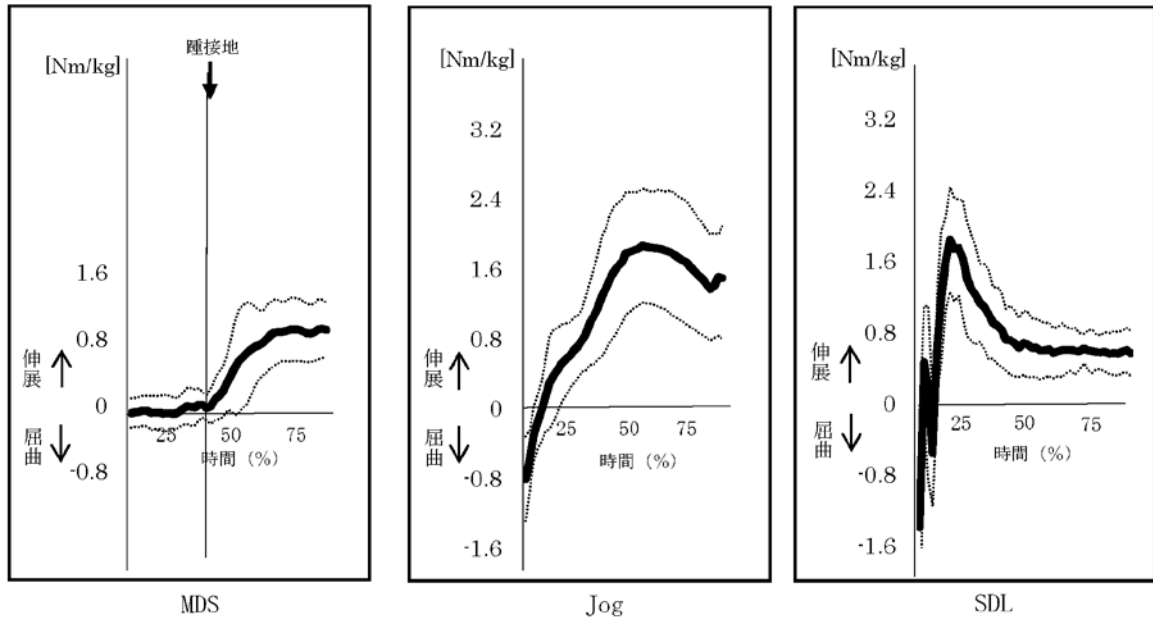


図3. 膝関節モーメント

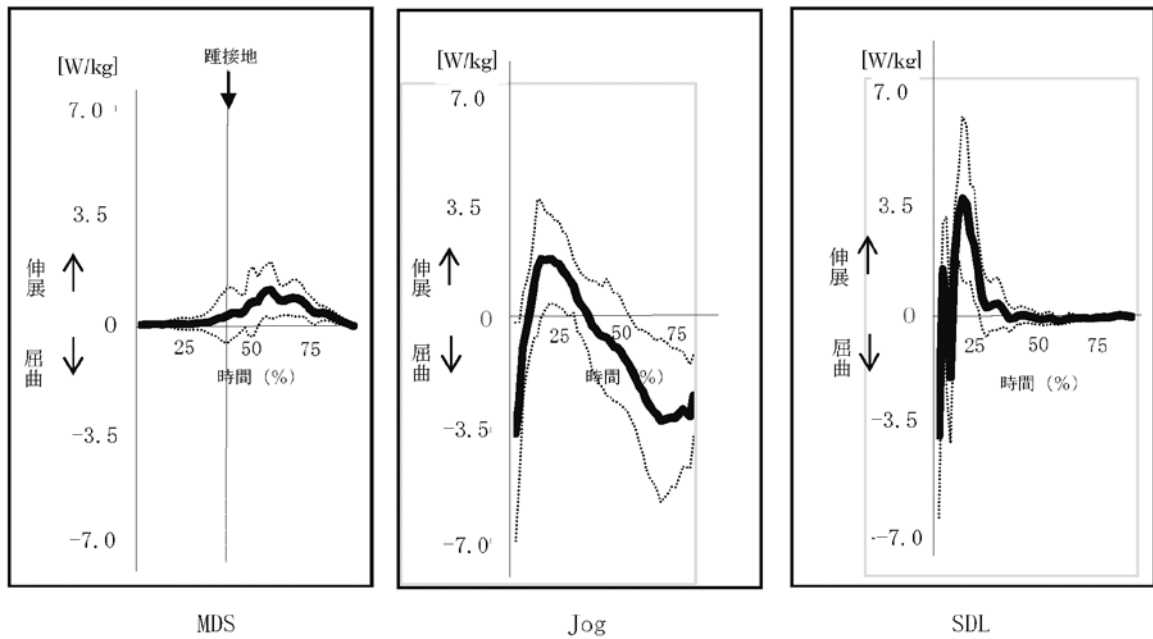


図4. 膝関節パワー

SDLを開始することが望ましいと考えられた。

一方SDLは、接地初期のエネルギー吸収に足関節の貢献度が高い<sup>6)</sup>と報告されているが、MDSとJogと同様に踵接地時に膝伸展モーメントおよび膝関節の吸収性パワーが急激に増加したことから、膝関節における衝撃吸収も必要な課題であった。また、設定したSDLは比較的低い段差からの着地ではあったが、MDSとJogに比較すると位置エネルギーが大きく、力学的負荷量は他の2群より増大したため、SDLが最も高負荷の運動課題と考えられた。

さらに足関節機能に低下があれば、SDLにおける膝関節負荷はさらに高まると考えられ、臨床においては、Jogを獲得した後、さらに走行速度を高めるとともに足関節底屈筋を改善させたうえでSDLを開始することが重要と考えられた。

本研究では負荷量を統一するために高さ10cmの台からの着地としたが、跳躍の高さや連続性により負荷量や力学性は異なると考えられる。今後はそれらも比較検証し、課題達成型の理学療法の確立に寄与したい。

## 結 論

---

SDLは、MDS, Jogに比較して、膝関節における力学的特性は類似していたが、膝関節パワーは最も大きく、高負荷の運動課題であった。

### 参考文献

- 1) 木村佳記, 中田研: 半月板修復(縫合)術: 半月板単独損傷—術後リハビリテーション. 臨床スポーツ医学30臨時増刊号: 394-401, 2013.
- 2) 中田研, 前達雄, 木村佳記, 他: 半月板損傷—縫合術—臨床スポーツ医学29(1):109-122, 2012.
- 3) 近藤さや花, 木村佳記, 向井公一, 他: 衝撃吸収機能の評価としてのmodified drop squatの運動解析. 臨床バイオメカニクス vol. 37: 327-334, 2016.
- 4) Keller TS, Weisberger AM, JL Ray et al.: Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. Clin Biomech 11 (5): 253-259, 1996.
- 5) 木村佳記, 中田研, 松尾知彦, 他: ドロップジャンプ着地による動的バランス評価. 着地直後の重心動揺軌跡解析. スポーツ傷害 Vol 18: 55-57, 2013.
- 6) 下河内洋平: スポーツ競技の減速動作中における非接触型性ACL損傷と着地時の地面反力の関係について. Sports medicine No. 164: 11-12, 2014.