

Drop vertical jumpにおける下肢関節貢献度タイプが運動学・運動力学的パラメータに与える影響

○横山 寛子^(PT, AT) (よこやま ひろこ)^{1), 2)}, 尾田 敦^(PT) ²⁾, 牧野 美里^(PT) ²⁾, 石川 大瑛^(PT) ²⁾,
山館 菜緒^(PT) ²⁾, 塚本 利昭^(PT) ¹⁾, 津田 英一^(MD) ³⁾

¹⁾ 弘前大学医学部附属病院 リハビリテーション部

²⁾ 弘前大学大学院 保健学研究科総合リハビリテーション科学領域

³⁾ 弘前大学大学院 医学研究科リハビリテーション医学講座

はじめに

Drop vertical jump (以下, DVJ) は台から両脚着地した直後に最大垂直跳びをする課題で, 膝前十字靭帯 (以下, ACL) 損傷のリスクスクリーニング評価として用いられ, 膝関節外反角度の増大, 最大垂直床反力 (以下, peak vGRF) の増大は ACL 損傷のリスクであると報告されている¹⁾. ACL 損傷予防を目的とした多くの研究でこれらのリスク因子を減少するための着地動作について検討されており, 股・膝関節屈曲角度や足関節背屈角度の増大が peak vGRF の減少と関連があるといわれている^{1)~4)}. DVJ はジャンプの素早さと高さが求められるプライオメトリクス課題である. そのため, 足関節の仕事が大きく素早さを得意とする症例や膝・股関節の仕事が大きく高いジャンプを得意とする症例があり, 症例によって動作の特徴は異なる⁵⁾. 先行研究では drop landing や垂直跳びにおいて関節仕事によって分類した下肢関節貢献度タイプが症例によって異なることを報告している⁶⁾. DVJ においても貢献度タイプが異なり, それぞれに運動学・運動力学的な特徴があると考えられる. 貢献度タイプごとの特徴が明らかになることで, ACL 損傷予防のためのトレーニング・動作指導に役立つと考える.

そこで本研究の目的は, DVJ における下肢関節貢献度をタイプ別に分類し運動学・運動力学的パラメータの比較により特徴を明らかにすることを目的とした.

方 法

対象は運動部での活動経験を有する健常女子大学生 29 名 (年齢: 21 ± 2 歳, 身長: 159.8 ± 5.4 cm, 体重: 54.6 ± 6.8 kg) とした. 除外基準は, 過去 1 年以内に整形外科疾患の既往のある者, 両下肢に愁訴及び手術歴を有する者とした.

被験者にはスポーツ用インナーを着用してもらい, 三次元動作解析装置に設定されている Plug-in Gait Full Body

モデルに従い, 直径 14mm の赤外線反射マーカを対象者の身体の 35 か所に貼付した.

動作課題は開始肢位を両脚静止立位とし, 高さ 30cm の台上から 30cm 前方に着地し, 直後に可能な限り素早くその場で最大垂直跳びをする DVJ 課題とした. 上肢・体幹に関する指示は特に行わなかった.

動作解析には赤外線カメラ 8 台で構成される三次元動作解析装置 (Vicon Nexus; Vicon Motion Systems, Oxford, UK) および床反力計 (400 × 600mm; AMTI, Watertown, MA, USA) 2 枚を使用した. サンプル周波数はそれぞれ 200Hz, 2000Hz とした. 処理には Butterworth filter を用い遮断周波数は 12Hz とした. 本研究ではすべて左脚を解析対象とし, 解析区間は台からの着地である 1 回目の着地相とした. vGRF が 10N を超えた時点を initial contact (以下, IC), 10N を下回った時点を toe off (以下, TO) と定義した. IC から TO までを接地区間, その時間を接地時間 (msec) とした.

Vicon Nexus から出力されたデータより, 運動学的パラメータとして IC 時点及び, peak vGRF 出現時, 重心最下点における矢状面・前額面での股・膝・足関節角度 (°), 運動力学的パラメータとして, peak vGRF (N/kg) を採用し, IC から peak vGRF 出現までの時間 (msec) を算出した. また接地区間における矢状面の股・膝・足関節の正・負の仕事率 (W/kg) を時間積分し, 矢状面の股・膝・足関節の正の仕事と負の仕事 (J/kg) を算出した. さらに正・負の仕事の絶対値の和である絶対仕事 (J/kg), 股・膝・足関節の絶対仕事の和である総仕事 (J/kg) を算出した (図 1). DVJ の垂直跳び時の最高到達点の重心高と静止立位の重心高からジャンプ高 (mm) を算出した.

股・膝・足関節のそれぞれの絶対仕事を股・膝・足関節の総仕事で除した値である相対的貢献度 (%) を算出し, 相対的貢献度が股・膝・足関節のうちどの順番で大きいかによって, 下肢関節貢献度タイプを分類した. 統計学的解析はジャンプ高, IC・peak vGRF 出現時・重心最下点の下肢関節角度, peak vGRF, time to peak vGRF, 接地

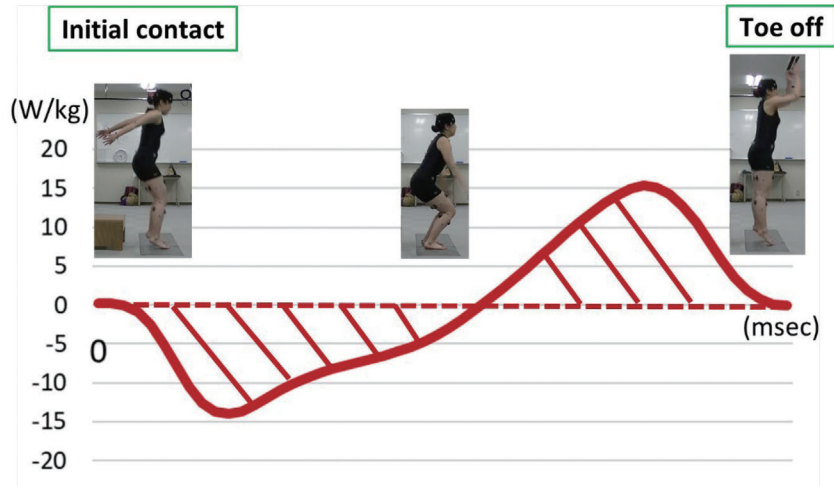


図1. 絶対仕事の算出方法

グラフは仕事率を示す

仕事率の時間積分の絶対値の和（図の斜線部分の面積）を絶対仕事とした

表1. 下肢関節貢献度タイプごとの相対的貢献度

		足-膝-股タイプ (20名)	膝-足-股タイプ (7名)	股-足-膝タイプ (1名)	足-股-膝タイプ (1名)
		平均±標準偏差	平均±標準偏差		
相対的貢献度 (%)	股関節	15.8 ± 5.1	17.9 ± 2.8	38.3	33.1
	膝関節	31.3 ± 5.9	44.5 ± 4.4	26.9	32.8
	足関節	52.9 ± 6.6	37.6 ± 4.5	34.8	34.1

足-股-膝タイプと膝-足-股タイプは平均±標準偏差を示す

膝-足-股タイプと足-股-膝タイプは1名の相対的貢献度の値を示す

時間を貢献度タイプによって2標本t検定もしくはMann-WhitneyのU検定を用い群間比較した。解析にはIBM SPSS Statistics 26 (Chicago, IL, USA) を使用し、有意水準は5%とした。

結 果

股・膝・足関節の相対的貢献度の大きさの順により、足-膝-股タイプ20名、膝-足-股タイプ7名、足-股-膝タイプ1名、股-足-膝タイプ1名と4つのタイプに分類された。それぞれのタイプにおける相対的貢献度を表1に示す。

2名以上の症例が該当した足-膝-股タイプと膝-足-股タイプの2群（表2）において、運動学・運動力学的パラメータを比較した。膝-足-股タイプと比較し、足-膝-股タイプ

表2. 下肢関節貢献度タイプ別の基本データ

	足-膝-股タイプ	膝-足-股タイプ
	平均±標準偏差	平均±標準偏差
年齢 (歳)	20.6 ± 1.8	21.4 ± 0.8
身長 (cm)	160.4 ± 5.5	159.4 ± 4.9
体重 (kg)	54.2 ± 7.2	56.1 ± 6.7

では接地時間、ICの膝関節屈曲角度、重心最下点における股関節屈曲角度・内転角度、膝関節屈曲角度・外反角度、足関節背屈角度が有意に低値を示し、peak vGRFが有意に高値を示した。ジャンプ高は2群間で有意差は認められなかった（表3, 4）。

考 察

本研究では股-膝-足関節の各絶対仕事を総仕事で除いた下肢関節貢献度を算出し、下肢関節貢献度分類を行い、下肢関節貢献度の違いによって運動学・運動力学的特徴の違いがあるかについて検討した。その結果、相対的貢献度は4つのタイプに分類され、足・膝・股関節の順に大きい足-膝-股タイプが最も多く、次いで膝-足-股タイプであり、足-股-膝タイプと股-足-膝タイプは各1名が該当するのみであった。阿江ら⁶⁾は垂直跳びの下肢関節貢献度タイプについて報告しているが、最大ジャンプ高における垂直跳びでは股-膝-足タイプが多くなり、最大ジャンプ高の40～80%の垂直跳びでは、膝-股-足タイプと膝-足-股タイプが多くなることを報告している。これは今回のDVJとは異なる結果となり、より高く跳ぶことを求められる垂直跳びでは大きい筋群を動員するために股・膝関節の貢献度が

表3. 下肢関節貢献度による運動学的パラメータの比較

	足-膝-股タイプ	膝-足-股タイプ	
	平均±標準偏差	平均±標準偏差	
接地時間 (msec)	313.8 ± 81.7	393.6 ± 47.6*	
ジャンプ高 (mm)	281.4 ± 55.9	323.3 ± 56.1	
IC	股関節屈曲/伸展 (°)	20.3 ± 6.6	20.1 ± 11.7
	股関節外転/内転 (°)	6.5 ± 3.9	5.4 ± 4.3
	膝関節屈曲/伸展 (°)	11.4 ± 5.1	17.1 ± 5.3*
	膝関節外反/内反 (°)	0.5 ± 3.1	1.5 ± 5.0
	足関節背屈/底屈 (°)	-25.1 ± 4.9	-17.2 ± 17.9
Peak vGRF	股関節屈曲/伸展 (°)	36.8 ± 9.7	40.6 ± 10.2
	股関節外転/内転 (°)	6.1 ± 4.8	6.5 ± 3.8
	膝関節屈曲/伸展 (°)	51.6 ± 8.1	56.4 ± 7.9
	膝関節外反/内反 (°)	0.4 ± 9.7	5.7 ± 10.1
	足関節背屈/底屈 (°)	26.0 ± 4.6	24.5 ± 9.7
重心最下点	股関節屈曲/伸展 (°)	43.1 ± 11.9	54.7 ± 9.2*
	股関節外転/内転 (°)	4.8 ± 5.5	2.0 ± 1.3*
	膝関節屈曲/伸展 (°)	65.2 ± 9.9	80.0 ± 10.0*
	膝関節外反/内反 (°)	3.4 ± 12.2	15.9 ± 14.0*
	足関節背屈/底屈 (°)	30.5 ± 4.3	35.9 ± 4.2*

+ : 股関節屈曲, 股関節外転, 膝関節屈曲, 膝関節外反, 足関節背屈
 - : 股関節伸展, 股関節内転, 膝関節伸展, 膝関節内反, 足関節底屈
 * : p<0.05 (vs 足-膝-股タイプ)

表4. 下肢関節貢献度タイプによる運動学的パラメータの比較

	足-膝-股タイプ	膝-足-股タイプ
	平均±標準偏差	平均±標準偏差
Peak vGRF (N/kg)	19.5 ± 3.4	15.0 ± 2.9*
Time to peak vGRF (msec)	91.3 ± 18.5	84.3 ± 17.2

* : p<0.05 (vs 足-膝-股タイプ)

大きくなったと考えられる。本研究の結果より、着地動作とジャンプ動作を繰り返すプライオメトリクス要素を含むDVJと単純な垂直跳びとでは下肢関節の使い方が異なると考えられた。

本研究では足-膝-股タイプと膝-足-股タイプがいずれも1名のみであったため、2名以上が該当した足-膝-股タイプと膝-足-股タイプの2群で、運動学・運動学的パラメータを比較した。膝関節の貢献度が最も大きい膝-足-股タイプと比較し、足関節の貢献度が最も大きい足-膝-股タイプにおいて、接地時間、ICの膝関節屈曲角度、重心最下点における股関節屈曲角度・内転角度、膝関節屈曲角度・外反角度、足関節背屈角度が有意に低値を示し、peak vGRFが有意に高値を示した。Peak vGRF出現時における膝関節外反角度は膝-足-股タイプで大きい傾向にあったが、有意差は認められなかった。足-膝-股タイプは、股・膝関節屈曲、足関節背屈角度が小さく、peak vGRFが大きいことから、衝撃吸収及び高いジャンプには不利な動作であるが、接地時間が短く、素早い動作に有利なタイプであると考えられる。図子ら⁵⁾は、rebound drop jump

において足関節の負の相対仕事と接地時間に負の相関があったとし、素早さが要求されるジャンプ動作では、下肢関節の運動範囲を小さくし、大きな質量や慣性モーメントを持つ身体部位を動員せずに、短時間でvGRFを大きくし力積を大きくするために、足関節の貢献度を大きくする必要があると考えられる。これらのことから足-膝-股タイプでは、接地時間は短く動作遂行時間を短くすることができるが、ジャンプするために短時間に大きなvGRFを得る必要があり、peak vGRFが増大したと考えられる。

本研究において膝-足-股タイプは、股・膝関節屈曲、足関節背屈角度が大きく、peak vGRFが低値を示し、衝撃吸収には有利な動作であると考えられた。しかしながら、膝-足-股タイプは重心最下点の股関節内転、膝関節外反角度が有意に高値を示し、peak vGRF出現時の膝関節外反角度は大きい傾向にあった。着地動作における膝関節外反角度の増大はACL損傷のリスクと考えられており¹⁾、DVJにおいて膝関節の貢献度が大きい膝-足-股タイプはACL損傷リスクが高い可能性が考えられた。

これらの結果より、ACL損傷予防の観点から考えると、足-膝-股タイプでは衝撃吸収能を向上するための股・膝関節屈曲運動や足関節背屈運動の改善が、膝-足-股タイプは股関節内転運動や膝関節外反運動の改善が必要であると考えられ、下肢関節貢献度タイプごとに異なるトレーニングや動作指導を行うことが大切であると考えられる。

本研究の限界は、対象者数が少なかったため、下肢関節貢献度タイプを分類するとタイプごとの対象者が少なく、2群のみでの比較にとどまった点である。今後は対象者数を増やし、それぞれの貢献度タイプにおける動作特性を検討する必要があると考える。

本研究によりDVJにおいて下肢関節貢献度タイプの違いは運動学・運動学的パラメータに影響を与えることが明らかになった。ACL損傷予防やジャンプ能力の向上のためには、それぞれの貢献度タイプごとの特徴をとらえて、トレーニング指導や動作指導を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al.: Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. Am J Sports Med 2005; 33 (4): 492 - 501.
- 2) 横山寛子, 尾田敦, 牧野美里, 他: 両脚着地動作における衝撃吸収能と下肢関節運動の関連. 青森スポ研誌 2017; 26: 11 - 5.
- 3) 大見頼一, 尹成祚, 長妻香織, 他: 膝前十字靭帯損傷予防プログラムのトレーニング効果～三次元動作解析による片脚着地動作と下肢筋力評価～. 日臨スポ医会誌, 20 (1): 56 - 65. 2012.
- 4) Laughlin WA, Weinhandl JT, Kernozek TW, et al.: The effects of single-leg landing technique on ACL loading. J Biomech 2011; 44 (10): 1845 - 51.

5) 関子浩二, 高松薫: リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因: 下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して. 体育学研究 1995; 40(1): 29-39.

6) 阿江通良, 大木昭一郎, 高松潤二: 垂直跳および着地動作におけるパワー発揮の大きさと下肢関節の貢献度, バイオメカニズム 1994; 12: 97-108.