

跳馬において踏切位置の手前に障害物を置くことで踏切動作を改善させられるか？

本嶋 良恵¹⁾, 北川 淳一²⁾, 前田 明²⁾

¹⁾ 鹿屋体育大学大学院 ²⁾ 鹿屋体育大学

キーワード : 跳馬, 踏切動作, 力学的パラメータ, 練習方法

【概要】

体操競技跳馬において、踏切位置の手前に障害物を置いて跳躍練習が行われることがある。この練習により、動感意識内容に変化が見られ、踏込み感覚を捉えられることが報告されており(鈴木と川口 2012)、踏切動作や力学的パラメータも改善されていると考えられる。そこで本研究は、踏切位置の手前に障害物を置くことが跳躍技実施時の踏切動作や力学的パラメータへ与える影響を検討することを目的とした。大学男子体操競技選手 4 名を対象に、踏切位置の手前に障害物を置く条件(障害物条件)と通常条件の 2 条件で側転とび 1/4 ひねり後方伸身宙返りを実施させた。動作は光学式 3 次元動作解析システム Mac3D を用いて撮影し、跳躍板に接地する 1 歩前から跳躍板に接地するまでの踏込局面と跳躍板に接地してから離地するまでの踏切局面に関して分析した。その結果、踏込距離や最大重心高、踏切局面の膝関節最大屈曲角度に関して、障害物条件が通常条件よりも高値を示し、鉛直成分の力積も大きくなった。これらのことから、踏切位置の手前に障害物を置くことは、踏切動作を変化させ、より大きな力積獲得に繋がることを示唆された。

スポーツパフォーマンス研究, 6, 233-244, 2014 年, 受付日:2014 年 3 月 14 日, 受理日:2014 年 11 月 5 日

責任著者: 本嶋良恵 〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町 1 番地 鹿屋体育大学大学院

m137008@sky.nifs-k.ac.jp

Improving the take-off motion in the vault by placing an obstacle in front of the take-off position

Yoshie Motoshima¹⁾, Junichi Kitagawa²⁾, Akira Maeda²⁾

¹⁾ Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

²⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: vault, take-off motion, mechanical parameters, practice method

[Abstract]

The vault in gymnastics jumping practice is often conducted by placing an obstacle in front of the take-off position. It has been reported that this practice changes the consciousness of the jumper's dynamic feeling and captures a stepping feeling. That should mean that the take-off motion and mechanical parameters are improved. The present study aimed to examine the influence of placing an obstacle in front of the take-off position on the take-off motion and mechanical parameters during execution of a vault. The participants, 4 male university gymnasts, conducted handsprings sideway with a 1/4 turn and salto backwards stretched under 2 conditions: an obstacle condition, in which an obstacle was placed in front of the take-off position, and a normal condition. The gymnasts' motions were shot with an optical three dimensional motion analyzing system Mac3D, and analyzed in 2 phases: a step-in phase from one step before landing to landing on the springboard, and a take-off phase from landing on the springboard to take-off. The results for the step-in phase showed that the maximum height of the jumpers' center of gravity was higher, and, in the take-off phase, that their maximum knee bending angle was higher in the obstacle condition than in the normal condition. Their vertical impulse was also higher. These results suggest that placing an obstacle in front of the take-off position changes the take-off motion and leads to a bigger impulse.

I. 緒言

体操競技跳馬の演技は、助走、踏切、第1空中局面、着手、第2空中局面、着地から構成される。選手は踏切時に身体重心の水平速度の一部を鉛直速度に変換し、身体重心まわりの角運動量を獲得することで(Bruggemann 1987; Takei 1988, 1991; Takei et al. 2003; Irwin & Kerwin 2009)、宙返りの回転や高さを生み出している。また、競技会で高得点を得るためには跳躍板からより大きな力を得ることが重要であり(Takei et al. 2003)、第1空中局面の最初の力学的パラメータが結果的なパフォーマンスに影響を与える(King et al. 1999)。これらのことから、踏切動作が重要であり、その中でも跳躍板を効果的に利用することが技を成功させるために重要な要因になると考えられる。

踏切局面において跳躍板の弾性を効果的に利用するための踏切技術獲得を目的として踏切位置の手前に障害物を置いて跳躍練習が行われることがある。跳躍技を実施する際、選手は踏切動作よりも着手動作に意識が向く傾向があり、それにより踏切動作が疎かになる可能性がある。しかし、障害物を乗り越えるためには、跳躍板を確認して最後の1歩を出すことが求められ、踏切動作にも意識が向き、跳躍板をしっかりと踏むことができると考えられる。また、股関節や膝関節を屈曲させてから跳躍板を踏むことが求められる。この練習により、動感意識内容に変化が見られ、踏込み感覚を捉えられることが報告されており(鈴木と川口 2012)、踏切動作や力学的パラメータも改善されていると考えられる。そこで本研究は、踏切位置の手前に障害物を置くことが跳躍技実施時の踏切動作や力学的パラメータへ与える影響を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被検者

被検者は、大学男子体操競技選手4名(年齢 20.0 ± 1.8 歳, 身長 1.63 ± 0.04 m, 体重 58.2 ± 2.6 kg, 競技歴 12.0 ± 2.4 年)とし, Subj. A, C は国際大会の出場経験をもつ選手であった。また、本研究の直近の競技会において選手が実施した跳躍技は、Subj. A が伸身カサマツとび 3/2 ひねり, Subj. B が伸身カサマツとび 1/2 ひねり, Subj. C が伸身カサマツとび 1 回ひねり, Subj. D が伸身カサマツとび 1/2 ひねりであった。なお、いずれの被検者にも、実験の目的、試技内容、実験の危険性、データ管理等を詳細に説明した上で、書面にて研究参加の承諾を得た。

2. 測定方法

被検者は十分なウォーミングアップののち、競技会と同様に実施する通常条件と踏切位置の手前に障害物を置く条件(障害物条件)の2条件で側転とび 1/4 ひねり後方伸身宙返り(伸身ツカハラとび)を各1跳躍実施した。試技順は、障害物を置くことによる即時的効果を考慮し、通常条件からとした。障害物として 0.2m 四方のスポンジを用い、跳躍板に接地する1歩前の着足位置から跳躍板着足位置の間で被検者の任意の位置に設置した。光学式3次元動作解析システム Mac3D(Motion analysis Co., 400Hz)を用いて、被検者の身体各部位と跳躍板に添付した直径 18mm の反射マーカ―を、同期された 12 台の Raptor カメラにより撮影し、基幹ソフトウェアである Cortex3.1.1(Motion Analysis Co.)により3次元座標を計測した。反射マーカ―の添付位置は、頭頂、頭部前部、頭部後部、肩峰(左右)、上腕骨外側上顆(左右)、尺骨茎状突起(左右)、第3中手骨(左右)、肩甲骨下端(右)、仙骨、肋骨下端(左右)、上前腸骨

棘(左右), 大転子(左右), 大腿骨外側上顆(左右), 踵骨(左右), 腓骨外顆(左右), 第3中足骨(左右)の身体27点と, 跳躍板の側面(左右)の10点とした. 座標系は, 進行方向に対して左右方向のベクトルをX軸, 進行方向へのベクトルをY軸, 鉛直方向へのベクトルをZ軸とする静止座標系とした. なお, X軸は, 跳躍板に接地する1歩前の支持脚が右脚になるように座標変換した.

Mac3Dで得られた3次元座標値は, デジタルフィルタにより遮断周波数7.2~16.5Hzで平滑化した(ウインター 2011).



図1 実験条件

3. 分析項目

分析を行うにあたり, 跳躍板に接地する1歩前の離地から跳躍板に接地するまでを踏込局面, 跳躍板に接地してから離地するまでを踏切局面と定義した(図2). 接地と離地は, それぞれ跳躍板, 第3中足骨に添付した反射マーカーにより規定した. 踏込局面に関しては, 踏込時間, 踏込距離, 最大重心高, 膝関節最大屈曲角度, 股関節最大屈曲角度, 踏切局面に関しては, 接地時間, 接地位置, 膝関節最大屈曲角度, 右大転子と右第3中足骨を結んだ線分の接地から最短長までの変位, 鉛直成分の力の最大値, 力積を算出した. また, 跳躍板に接地する1歩前の離地時, 跳躍板接地時, 跳躍板離地時の身体重心の水平速度, および跳躍板離地時の身体重心の鉛直速度, YZ平面における身体重心まわりの角運動量を算出した. 跳躍板接地する1歩前の離地時の右第3中足骨のY座標から跳躍板接地時により跳躍板の後方に近い位置にある脚の第3中足骨までのY座標の変位を踏込距離, 跳躍板接地時における右第3中足骨と跳躍板右前方部のマーカーのY座標の距離を接地位置, 右大転子と右大腿骨外側上顆を結んだ線分が右大腿骨外側上顆と右腓骨外顆を結んだ線分となす角度を膝関節角度, 右肋骨下端と右大転子を結んだ線分が右大転子と右大腿骨外側上顆を結んだ線分となす角度を股関節角度と定義した. 身体を15セグメントからなる剛体とみなし, 阿江ら(1992)の日本人アスリートの身体部分慣性係数を用いて身体重心速度, 身体重心加速度, YZ平面における身体重心まわりの角運動量を算出し, 得られた身体重心加速度から鉛直成分の力と力積を算出した. なお, YZ平面における身体重心まわりの角運動量は Hay et al. (1977)の以下の式から算出した.

$$H = \sum [I_i \cdot \omega_i + m_i \cdot (r_{si})^2 \cdot \omega_{si}]$$

H : 身体重心まわりの角運動量

I_i : セグメントiの慣性モーメント

ω_i : セグメントiの角速度

m_i : セグメントiの質量

r_{si} : セグメント i の質量中心 s から身体重心への距離

ω_{si} : セグメント i の質量中心 s と原点を結んだ線分の角速度

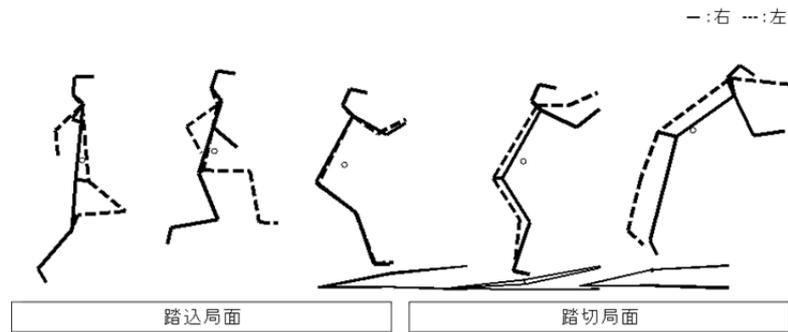


図2 局面分け

III. 結果

全ての被検者において、通常条件(動画 1)と比べて障害物条件(動画 2)で踏込時間や踏込距離が長く、踏込局面の最大重心高が高くなり、踏切局面の膝関節最大屈曲角度も大きくなった(表 1)。一方で、踏込局面の膝関節最大屈曲角度や股関節最大屈曲角度、接地時間は、Subj. B, C, D において障害物条件が通常条件よりも低い値を示したが、Subj. A は障害物条件が通常条件よりも高い値を示した(表 1)。

表 1 各局面における踏切動作

局面	項目	条件	Subj.A	Subj.B	Subj.C	Subj.D
踏込局面	踏込時間 (ms)	通常条件	275.0	270.0	282.5	270.0
		障害物条件	↑ 287.5	↑ 307.5	↑ 322.5	↑ 310.0
	踏込距離 (m)	通常条件	2.35	2.79	2.14	2.66
		障害物条件	↑ 2.42	↑ 2.94	↑ 2.69	↑ 2.99
	最大重心高 (m)	通常条件	1.12	1.18	0.97	1.00
		障害物条件	↑ 1.16	↑ 1.26	↑ 1.12	↑ 1.21
膝関節最大屈曲角度 (deg)	通常条件	54.5	70.2	38.1	76.5	
	障害物条件	↑ 67.9	↓ 49.2	↓ 32.9	↓ 52.3	
股関節最大屈曲角度 (deg)	通常条件	68.8	85.0	87.8	70.1	
	障害物条件	↑ 77.6	↓ 75.8	↓ 83.9	↓ 58.6	
踏切局面	接地時間 (ms)	通常条件	115.0	115.0	122.5	127.5
		障害物条件	↑ 120.0	↓ 112.5	↓ 105.0	↓ 115.0
	接地位置 (m)	通常条件	0.38	0.41	0.64	0.57
		障害物条件	↓ 0.35	↓ 0.25	↓ 0.48	↓ 0.32
	膝関節最大屈曲角度 (deg)	通常条件	132.6	140.0	131.0	129.0
		障害物条件	↑ 142.2	↑ 145.8	↑ 154.4	↑ 138.5
大転子と第3中足骨を結んだ線分の変位 (m)	通常条件	0.098	0.081	0.081	0.093	
	障害物条件	↓ 0.070	↓ 0.072	↓ 0.067	↓ 0.065	

跳躍板に接地する1歩前の離地時および跳躍板接地時の身体重心の水平速度は, Subj. A, B, Dが障害物条件で通常条件よりも低い値を示した(表2). 跳躍板離地時の身体重心の鉛直速度ではSubj. A, B, 水平速度ではSubj. A, B, Dが障害物条件で通常条件よりも低い値を示した(表2). また, 身体重心まわりの角運動量に関しては, 被検者により異なる結果を示し, 条件間での差はみられなかった(表2). しかし, 踏切局面における鉛直成分の力の最大値はSubj. B, C, Dで, 力積は全ての被検者で障害物条件が通常条件よりも高い値を示した(表3).

表2 身体重心速度および身体重心まわりの角運動量

局面	項目	条件	Subj.A	Subj.B	Subj.C	Subj.D
1歩前 離地時	身体重心の 水平速度(m/s)	通常条件	7.67	7.67	7.48	7.49
		障害物条件	↓ 7.48	↓ 7.32	↑ 7.59	↓ 7.34
通常条件		7.39	7.06	7.07	7.19	
障害物条件		↓ 7.19	↓ 6.94	↑ 7.21	↓ 6.95	
跳躍板 接地時		通常条件	5.14	4.76	4.90	4.85
		障害物条件	↓ 4.52	↓ 4.24	↑ 5.01	↓ 4.55
	通常条件	4.50	4.29	4.41	4.04	
	障害物条件	↓ 4.10	↓ 4.21	↑ 4.55	↑ 4.17	
跳躍板 離地時	身体重心の 鉛直速度(m/s)	通常条件	-81.2	-79.7	-68.3	-85.7
		障害物条件	↑ -81.3	↓ -77.8	↑ -72.2	↑ -88.0
	身体重心まわりの 角運動量(kgm ² /s)	通常条件	-81.2	-79.7	-68.3	-85.7
		障害物条件	↑ -81.3	↓ -77.8	↑ -72.2	↑ -88.0

表3 踏切局面における力学的パラメータ

項目	条件	Subj.A	Subj.B	Subj.C	Subj.D
力の最大値(N)	通常条件	5436.4	5430.0	4729.5	5210.2
	障害物条件	↓ 5232.0	↑ 5951.3	↑ 5196.4	↑ 5832.3
力積(Ns)	通常条件	144.3	158.3	150.9	148.4
	障害物条件	↑ 152.5	↑ 170.7	↑ 170.1	↑ 151.8

IV. 考察

1. 踏切位置の手前に障害物を置くことの効果

世界一流選手は, 助走スピードを落とさないように腰点カーブの変化を小さくし, 空中で膝を高く引き上げ, それを両足踏切時にたたきつけるように入ることで, エキセントリックな筋緊張に有利に働かせているといった踏込技術を利用している(金子 1987). 踏切位置の手前に障害物を置くことにより, 踏込局面で膝関節や股関節をより屈曲させるようになり(表1), 一流選手の踏込動作に近づいたと考えられる. また, 踏込距離が長く, 接地時に跳躍板の前方部を踏めるようになり(表1), 跳躍板接地時の動作に影響を与えたと推測される. 図3は, 踏込局面における右肩峰と右大転子を結んだ体幹と, 右大転子と右腓骨外顆を結んだ下肢の動作を経時的に示している. 障害物条件が通常条件よりも股関節を屈曲, 膝関節を伸展させ, 腰部に対して足先を前方に振り出し, 体幹を起こした姿勢で接地している. 身体重心より

も前方に着足することで、より大きな水平成分の力を跳躍板に加え、跳躍板を利用して鉛直成分の力に変換することができている。

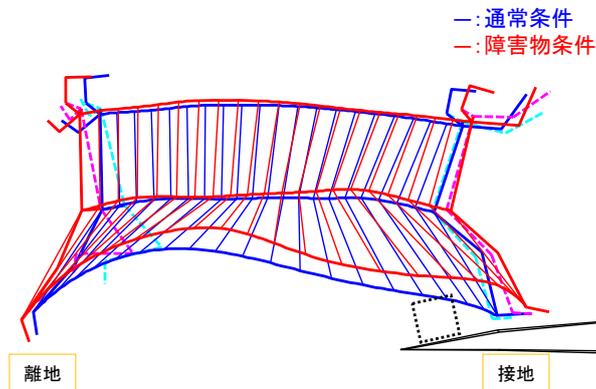


図3 踏込局面における体幹および下肢の経時的動作

一般的に跳躍動作において下肢は「バネ」のように振る舞う。しかし、高い弾性をもつ跳躍板上で行われる跳馬の踏切動作では、身体は「バネ」ではなく「棒」のように振る舞うことで(佐野 2007)、器具の弾性を効果的に利用することができる。障害物条件において踏切局面の膝関節最大屈曲角度が大きく、大転子と第3中足骨を結んだ線分の変位が小さくなった(表1)。このことは膝関節を伸展させた状態で下肢を固めて踏切が行われ、効果的に器具のバネを利用できていたことを示している。

踏切局面の水平速度の減少はすべての被検者で障害物条件が通常条件よりも大きくなったが、跳躍板離地時の鉛直速度は Subj. C, D では障害物条件の方が高く、Subj. A, B では障害物条件の方が低くなった。また角運動量の絶対値は Subj. C, D では障害物条件の方が大きくなり、Subj. A では両条件ほとんど変わらず、Subj. B では障害物条件の方が小さくなった。Subj. A, B の障害物条件における跳躍板離地時の鉛直速度や角運動量の結果は、跳躍板 1 歩前離地時の水平速度(助走速度)が通常条件よりも大きく低下していることが影響していると考えられる。Subj. C, D の障害物条件では、跳躍板離地時において鉛直速度、角運動量ともに通常条件よりも獲得できており、Subj. D では助走速度の低下は見られたものの Subj. C, D とも効果的な踏切動作が行われていたことが示唆される。

運動の洗練化や修正は、練習で用いる用具や対象物からくる調整的作用より促進される(マイネル 1981)。踏切位置の手前に障害物を置くことで踏込および踏切動作が変化し、踏切局面の鉛直成分のより大きな力積獲得に繋がったと考えられる。一方で、本研究において4選手中3選手で助走速度の低下がみられた(表2)。これは跳躍板の踏込を意識することで、助走にブレーキをかけていることを示している。高難度の跳躍技を実施している選手は、踏切時に高い助走速度を獲得しているとされていることから(Veličković et al. 2011)、この助走速度の低下はパフォーマンスを低下させる可能性をもつ。しかし、身体重心の加速度を基に算出した力積に関して改善がみられたことから、踏切局面での速度変換は効果的に行われていると推察される。これらのことから、障害物条件において跳躍練習を行うことは動作改善に有効となるが、助走速度の低下を招く可能性をもつことが明らかとなった。動作を改善させ、かつ助走速度を保つためには、長期的なトレーニングとして実施することが必要になるだろう。

2. 障害物の位置

本研究では実際に伸身ツカハラとび実施時において動作を検討したため、怪我等の危険性を考慮し、障害物の設置位置を被検者の任意とした。そのため、Subj. A は跳躍板の外に、Subj. B, C, D は跳躍板の下部に設置した。跳躍板の下部に設置した場合、跳躍板の外に設置した場合と比べて障害物の位置が高くなり、これにより、選手は身体重心高を高めることや、より膝関節や股関節を屈曲させることが求められる。このことにより、Subj. B, C, D において、障害物条件で通常条件と比べて踏込局面の膝関節最大屈曲角度、股関節最大屈曲角度の増大を示したと推測される。踏込み意識や動作改善には障害物の設置位置が影響を与えると考えられることから、障害物の最適な設置位置の検討が求められるだろう。

3. 障害物を置くことによる各被検者の踏込および踏切動作の変化

(1) Subj. A の動作の変化 (図 4)

踏込局面の最大重心高は通常条件 1.12m, 障害物条件 1.16m であり、障害物上限が通常条件よりもわずかに高くなっていた。一方で、膝関節最大屈曲角度は通常条件 54.5deg, 障害物条件 67.9deg, 股関節最大屈曲角度は通常条件 68.8deg, 障害物条件 77.6deg であり、膝関節、股関節ともに通常条件が障害物条件よりも屈曲していた。また、鉛直成分の力の最大値は、障害物条件 (5232.0N) が通常条件 (5436.4N) よりも小さくなった。Subj. A は、跳躍板の外に障害物を置いており、今回の障害物が負荷として適切ではなかった可能性がある。しかし、Subj. A は、踏切動作の確認のために練習時に障害物を用いて跳躍を行うことがあり、この練習により踏切動作に意識を向けることができると報告しており、障害物を置くことで踏込および踏切時の意識に変化が起こっていると推測できる。Subj. A が動作や力学的パラメータを改善させるためには、障害物を跳躍板の下部に設置する、あるいは障害物を今回用いた 0.2m よりも高くすることが有効ではないかと考えられる。

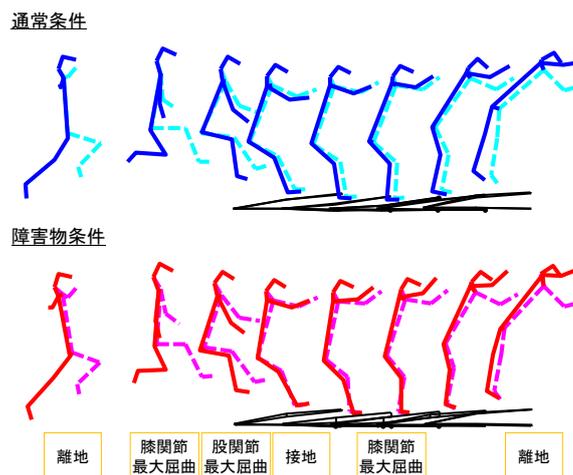


図 4 Subj. A の踏込および踏切局面のスティックピクチャー

(2) Subj. B の動作の変化 (図 5)

踏込局面の膝関節最大屈曲角度は、通常条件 70.2deg, 障害物条件 49.2deg と、障害物を置くことで踏込動作が大きく変化し、鉛直成分の力の最大値 (通常条件 5430.0N, 障害物条件 5951.3N) や、力積

(通常条件 158.3Ns, 障害物条件 170.7Ns)も大きくなった。しかし, 接地1歩前の離地時の水平速度が通常条件 7.67m/s, 障害物条件 7.32m/s であり, 障害物条件において助走速度の低下がみられた。このことから, Subj. B に関しては, 長期的にこの練習方法を実施することで, 助走速度を維持しながら動作を変化させることができるようになり, より大きな力積獲得に繋がる可能性があると推測される。

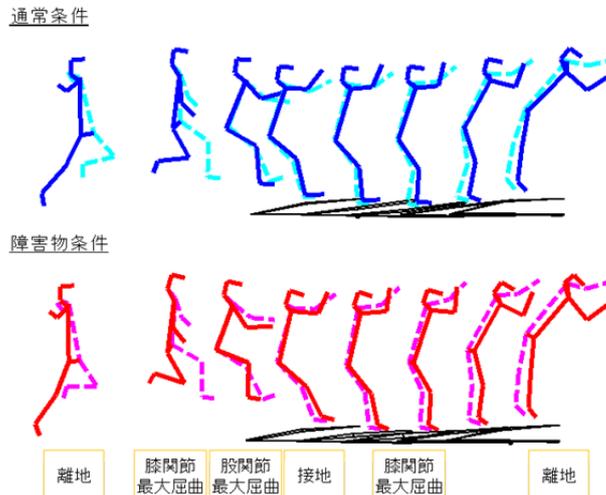


図5 Subj. B の踏込および踏切局面のスティックピクチャー

(3) Subj. C の動作の変化(図6)

踏込局面の膝関節最大屈曲角度(通常条件 38.1deg, 障害物条件 32.9deg), 股関節最大屈曲角度(通常条件 87.8deg, 障害物条件 83.9deg)ともに障害物条件が通常条件よりも低値であり, 障害物を置くことで膝・股関節をより屈曲させていた。また, Subj. C の特徴として, 障害物条件において, 踏切局面の膝関節最大屈曲が跳躍板接地と同じコマであり, 大転子と第3中足骨を結んだ線分の変位も障害物条件(0.067m)が通常条件(0.081m)よりも小さくなった。障害物を置くことで, より身体を「棒」のように振る舞うこと(佐野 2007)ができ, 鉛直成分の力積の獲得にも繋がっていると考えられる。

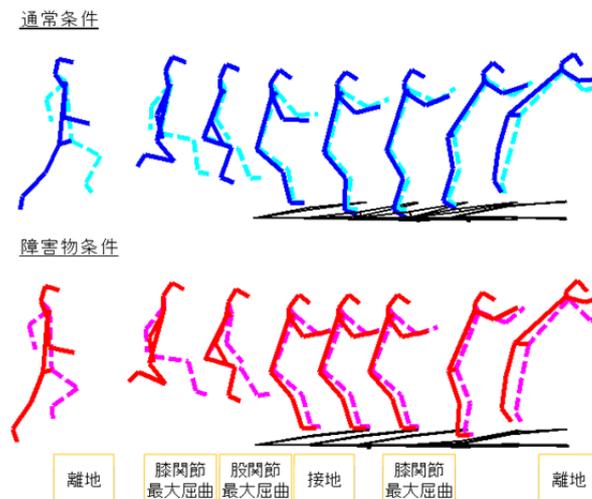


図6 Subj. C の踏込および踏切局面のスティックピクチャー

(4) Subj. D の動作の変化(図 7)

通常条件に比べて障害物条件において, 踏込局面の膝関節最大屈曲角度(通常条件 76.5deg, 障害物条件 52.3deg), 股関節最大屈曲角度(通常条件 70.1deg, 障害物条件 58.6deg)が大きくなり, 最大重心高(通常条件 1.00m, 障害物条件 1.21m)も高くなった. 障害物を置くことで, 高い位置から一気に関節を伸展させるようにして跳躍板を踏みつけられるようになっていることが示唆される. また, 力の最大値は通常条件 5210.2N, 障害物条件 5832.3N と大きく増加し, 踏込動作の変化が鉛直成分の力の増大につながったと考えられる.

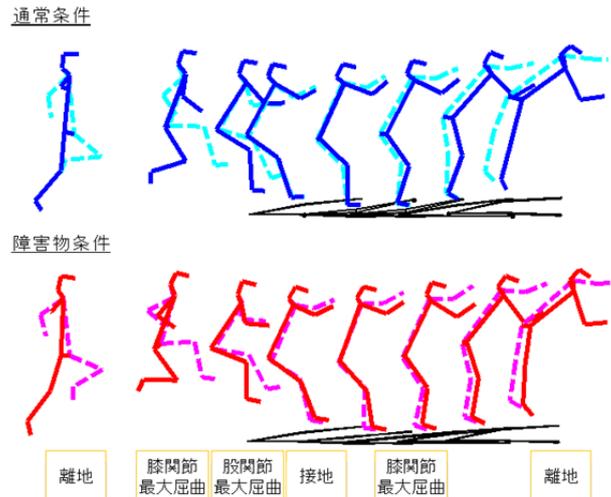


図 7 Subj. D の踏込および踏切局面のスティックピクチャー

4. 今後の課題

本研究のリミテーションとして, これらの結果が高い競技力を有する 4 選手を対象に, 通常条件と障害物条件を各 1 跳躍のみのデータを評価したものであることが挙げられる. また, 障害物の位置に関しても, 選手が実際に練習の際に設置する位置としたため, 実験条件の統制としては不十分であることに注意を払わなければならない. 本研究は限られたデータによる結果ではあるが, 動作や力学的パラメータの変化がみられたことから, 今後は多くの選手, 試技数を対象に条件を統制して実施するとともに, 障害物の設置位置や大きさの検討が必要である. また, 実際に競技会では, このような条件下で演技を実施することはできないため, 長期的なトレーニングとして動作の改善を検討していく必要性があると考えられる.

5. 現場へのフィードバック

最適な動作を数量的に示しても, 選手はその通りに動くことはできない. 運動の修正において, 言語指示, 身振り, 感覚運動的アナログンの利用, 用具などの物的環境変化といった様々な手段が用いられる(マイネル 1981; 金子と朝岡 1990). 跳躍板の手前に障害物を置くことで踏込み意識を変化させることができ(鈴木と川口 2012), より効果的な踏切動作を行うことができた. このことから, これまでも練習の一部として行われてきた障害物を置いての練習方法は, 踏切時の動作や力積の改善に繋がる有効な練習方法であることが示唆された.

また、本研究から障害物の設置位置が動作や力積の改善に影響していると推測され、障害物の幅や高さに関しては検討していないが、選手により効果的な負荷が異なると考えられる。そのため実際の練習で行う際は、選手の体格や競技力、練習の目的に応じて障害物の位置や大きさを設定していく必要があるだろう。

V. 結論

本研究は、踏切位置の手前に障害物を置くことが跳躍技実施時の踏切動作や力学的パラメータへ与える影響を明らかにすることを目的とした。その結果、踏切位置の手前に障害物を置くことにより、踏込距離や最大重心高、踏切局面の膝関節最大屈曲角度に変化が見られ、鉛直成分の力積が増大することが明らかとなった。

VI. 文献

- ・ 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志 (1992) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム, 11: 23-33.
- ・ Brüggemann, P. (1987) Biomechanics in gymnastics. *Med. Sport Sci.*, 25: 142-176.
- ・ Hay, J. G., Wilson, B. D., Dapena, J., and Woodworth, G. G. (1977) A computational technique to determine the angular momentum of a human body. *J. Biomech.*, 10: 269-277.
- ・ Irwin, G., and Kerwin, D. G. (2009) The influence of the vaulting table on the handspring front somersault. *Sports Biomech.*, 8(2): 114-128.
- ・ 金子明友 (1987) 教師のための器械運動指導法シリーズ 1. 跳び箱・平均台運動 初版, 大修館書店, pp 65-69.
- ・ 金子明友, 朝岡正雄 (1990) 運動学講義 第13版. 大修館書店, pp.143-146.
- ・ King, M. A., Yeadon, M. R., and Kerwin, D. G. (1999) A two-segment simulation model of long horse vaulting. *J. Sports Sci.*, 17: 313-324.
- ・ マイネル: 金子明友訳 (1981) スポーツ運動学. 第5版, 大修館書店, pp.393-396.
- ・ 佐野真也 (2007) 体操跳馬の踏切動作. *体育の科学*, 57(7): 511-515.
- ・ 鈴木良太, 川口鉄二 (2012) 跳馬における踏切り技術に関する伝承論的研究. *仙台大学大学院スポーツ科学研究科修士論文集*, 13: 37-44.
- ・ Takei, Y. (1988) Techniques used in performing handspring and salto forward tucked in gymnastic vaulting. *Int. J. Sport Biomech.*, 4: 260-281.
- ・ Takei, Y. (1991) A comparison of techniques used in performing the men's compulsory gymnastic vault at the 1988 Olympics. *Int. J. Sport Biomech.*, 7: 54-75.
- ・ Takei, Y., Dunn, H., and Blucker, E. (2003) Techniques used in high-scoring and low-scoring 'Roche' vaults performed by elite male gymnasts. *Sports Biomech.*, 2(2): 141-162.
- ・ Veličković, S., Pteković, D., and Pteković, E. (2011) A case study about differences in characteristics of the run-up approach on the vault between top-class and middle-class gymnasts. *Sci. Gymnastics J.*, 3(1): 25-34.

- ・ウインター: 長野明紀, 吉岡伸輔訳 (2011) バイオメカニクス 人体運動の力学と制御[原著第4版].
ラウンドフラット, pp.67-75.