

跳馬の「前転とび前方伸身宙返り 5/2 ひねり(Yeo2)」における成功試技と 失敗試技の動作比較 — 踏切局面から着手局面に着目して

熊谷慎太郎
中京大学

キーワード: 跳馬, 踏切動作, 着手動作, 失敗試技

【要 旨】

本研究の目的は, 跳馬における「前転とび前方伸身宙返り 5/2 ひねり(Yeo2)」の成功試技と失敗試技の動作を比較することで, 失敗に至った原因と成功させるための要点を明確にすることであった. 2014 年豊田国際体操競技大会において Yeo2 を跳躍した 2 名を分析の対象とし, シャッターが同期された 2 台のハイスピードビデオカメラを用いて 250fps で記録した. 主に踏切局面から着手局面の動作について, 3 次元 DLT 法によって得られた 3 次元座標を矢状面に投影し, 2 次元平面上で分析を行った. その結果, 失敗試技は成功試技と比較してハードルステップ局面における身体重心高が高く, 踏切板離足時の身体重心の鉛直速度が小さかった. また, 失敗試技は成功試技と比較して馬体着手時の身体角度が大きく, 股関節の伸展角度が小さかった. さらに, 失敗試技は着手局面における身体重心距離の変化も小さかった. これらのことが馬体離手時における鉛直速度を低下させる要因となり, 第 2 空中局面における身体重心高を十分に確保できなかったと考えられる. 失敗試技は Yeo2 を成功させるために, 適切な高さでハードルステップを行い, 振り上げ動作を明確に行って馬体に着手することが重要であると示唆された.

スポーツパフォーマンス研究, 9, 298-315, 2017 年, 受付日: 2016 年 9 月 2 日, 受理日: 2017 年 7 月 6 日
責任著者: 熊谷慎太郎 〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101 skumagai123@gmail.com

* * * * *

Comparison of successful and unsuccessful vaults in the Yeo 2 (Handspring Front Layout with 2.5 Twists): Focus on the movements from the on-board phase through the on-table phase

Shintaro Kumagai
Chukyo University

Key words: vault, motion on board, motion on table, unsuccessful trial

[Abstract]

The present study aimed to identify reasons for failure and points related to success in the Yeo 2, a handspring front layout with 2.5 twists, in the vault, by comparing successful and unsuccessful vaults. The vaults of two gymnasts who attempted the Yeo 2 at the 2014 Toyota International Gymnastic Competition were recorded at 250 fps with two synchronized high-speed video cameras. The gymnasts' motions from the on-board phase through the on-table phase were analyzed on a two-dimensional plane by projecting three-dimensional coordinates obtained with a three-dimensional direct linear transformation (DLT) method on a sagittal plane. The results showed that, in the unsuccessful vaults, compared to the successful ones, the gymnasts' center of gravity was higher in the hurdle step phase, and the vertical speed of their center of gravity was smaller in the on-board phase. Also, in the unsuccessful vaults, the angle of their body in the on-table phase was greater, and the angle at which their knee was bent was smaller. Furthermore, in the unsuccessful vaults, they moved their weight a smaller distance in the on-table phase. These elements lowered their vertical speed in the on-board phase, and made it difficult for the gymnasts to keep their center of gravity high enough in the second air phase. These results suggest that, for a successful Yeo 2, gymnasts should make the hurdle step from a reasonably high position and should touch the vault with a clear upward motion.

I. 緒言

体操競技の跳馬は、他の種目と異なり 1 つの跳躍技で演技が構成される。それぞれの跳躍技には、難易度に応じた演技価値点（以下、D スコアとする）が与えられており、最も低い 2.0 から最も高い 6.4 までの範囲で設定されている (International Federation of Gymnastics, 2013)。D スコアの決定には、かかえ込み、屈身、伸身というような姿勢の違いと、ひねり（身体の長軸回りの回転）や宙返りの回転数が影響するため (土屋, 2007)、D スコアが高い跳躍技ほど、回転しにくい姿勢で多回転の宙返りやひねりを行うことになる。跳馬は技ごとに設定された D スコアの差が大きいため、他の種目と比較して得点差が開き易い。それゆえ、跳馬でより高い D スコアの跳躍を成功させることは、高得点の獲得を目指すうえで大きな利点となる。ここで日本のトップレベルの競技会における跳馬の実施状況に注目すると、2015 年に開催された全日本体操個人総合選手権大会の予選競技で跳馬に出場した 82 名のうち、D スコア 6.0 以上の跳躍を実施した選手は僅かであった。このことから、日本のトップレベルの選手にとって、高得点獲得のためにより高い D スコアの跳躍を習得することは大きな課題の 1 つであるといえる。

本研究で扱う「前転とび前方伸身宙返り 5/2 ひねり」(図1)は、1994 年に広島で開催されたアジア大会において韓国の Yeo Hong-Chul 氏が初めて発表したと言われている。この技は Yeo 氏によって跳馬で発表された 2 つ目の新技であることから、Yeo2 と名付けられた (以下、Yeo2 とする)。Yeo2 は馬体に正対して両手で着手し、離手から着地までに伸身姿勢で 1 回半宙返りをする間に 2 回半のひねりを行う技である。この跳躍技には 6.0 の D スコアが与えられており、前述の競技会 (2015 年全日本体操個人総合選手権大会) で実施したのはわずか 1 名であった。跳馬の跳躍技は、Yeo2 や「伸身カサマツとび 3/2 ひねり (Driggs)」のように多回転のひねりを行うタイプ (本稿では「ひねり系」とする) と、「前転とび前方かかえ込み 2 回宙返り (Roche)」のように多回転の宙返りを行う技 (本稿では「宙返り系」とする) に大別できるが、前述の競技会に出場した 82 名の選手はすべてひねり系の技を跳躍していた。このことから、日本人選手にとってひねり系の跳躍技は比較的取り組みやすい技であると考えられる。

近年、ひねり系の跳躍技を扱った研究では、Farana et al. (2013) が「前転とび前方伸身宙返り 3/2 ひねり (以下、Lou Yun とする)」について、バイオメカニクスのパラメータと得点との関係を調査し、馬体離手時における身体重心の鉛直速度および第 2 空中局面の身体重心の高さと得点とに有意な相関関係があることを報告している。しかし、Lou Yun は Yeo2 と比較してひねりが 1 回少ない跳躍技 (D スコア=5.2) であり、Lou Yun よりも D スコアの高い Yeo2 に関する研究はまだ見当たらない。また、これまでの研究では跳躍動作と得点との関係を調査したものや、高得点群と低得点群の動作を比較したものが散見されるが (Takei, 1991a, Takei, 1991b, Takei et al., 2000, Takei et al., 2003, Atiković & Smajlović, 2011, Farana et al., 2013)、それらはすべて成功試技のみを扱ったものである。体操競技ではすべての種目において、着地で転倒すれば 1.0 の減点がなされる。これは体操競技の採点規則の中で「器具からの落下」と並ぶ最も大きな減点であることから、選手が新たな技の習得を目指すときの最も基本的であり重要なことは「どのようにしたら落下や転倒することなく実施できるか」である。そのような知見を得るためには、成功試技と失敗試技の違いを明確にすることが必要である。しかし、これまで成功試技と失敗試技の動作を比較した研究はほとんどない。

そこで本研究は、2014 年豊田国際体操競技大会において収集した Yeo2 の成功試技と失敗試技の映像データをもとに、主にその踏切動作および着手動作をバイオメカニクスの観点から比較し、失敗の

原因と技を成功させるための要点を明確にすることで、指導現場へ役立てる知見を得ることを目的とした。

II. 方法

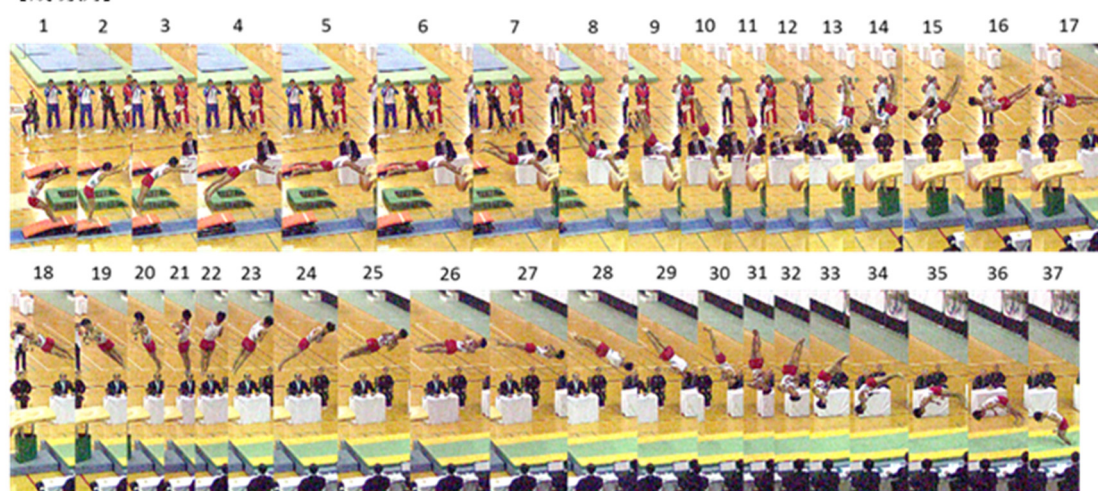
1. データ収集および撮影環境の設定

2014 年 12 月に行なわれた豊田国際体操競技大会において、大会主催者の承認を得て撮影を行った。露出同期された 2 台の高速度ビデオカメラ(Phantom Miro eX4 , Vision Rserch 社製)を観客席の 2 階に設置した。2 台のカメラの光軸間の角度がほぼ 90 度となるように留意し、跳馬種目に出場した選手の跳躍を撮影した。撮影スピードは毎秒 250 コマ、露出時間は 1/1000 秒であった。3 次元 DLT 法による 3 次元座標を算出するため、運動の空間が十分にカバーできるよう、垂直方向に 6 つのコントロールポイント(Z:0.00~5.00m)を持つ鉛直ポールを床面の 21 箇所に設置し、計 126 個のコントロールポイントを用いた。競技開始前に 2 台のカメラでコントロールポイントの撮影を行った。3 次元 DLT 法による 3 次元座標算出における平均誤差は X(左右方向)=0.7cm, Y(前後方向)=0.7cm, Z(上下方向)=0.6cm であった。これは分析対象範囲(2m×11m×5m)に対して、それぞれ約 0.35%, 0.06%, 0.12% であった。

2. 分析対象

種目別跳馬に出場した 7 名のうち、「前転とび前方伸身宙返り 5/2 ひねり(Yeo 2)」を実施したのは 2 名であった。そのうち 1 名は着地で足部を後ろに小さく 1 歩踏み出したのみで実施に成功したが、もう 1 名は着地時に前のめりになり、マットに手をつき転倒した(図 1)。本研究では着地で転倒した試技を失敗試技とみなし、成功試技と失敗試技の各 1 試技を分析の対象とした。なお、成功した選手は 2011 年世界選手権大会、2012 年オリンピック大会、2013 年世界選手権大会の 3 大会における跳馬の種目別決勝で金メダルを獲得しており、失敗した選手は 2015 年世界選手権大会における跳馬の種目別決勝に出場した実績を持つ。2 名の身体的特性および得点は表 1 の通りである。

【成功例】



【失敗例】

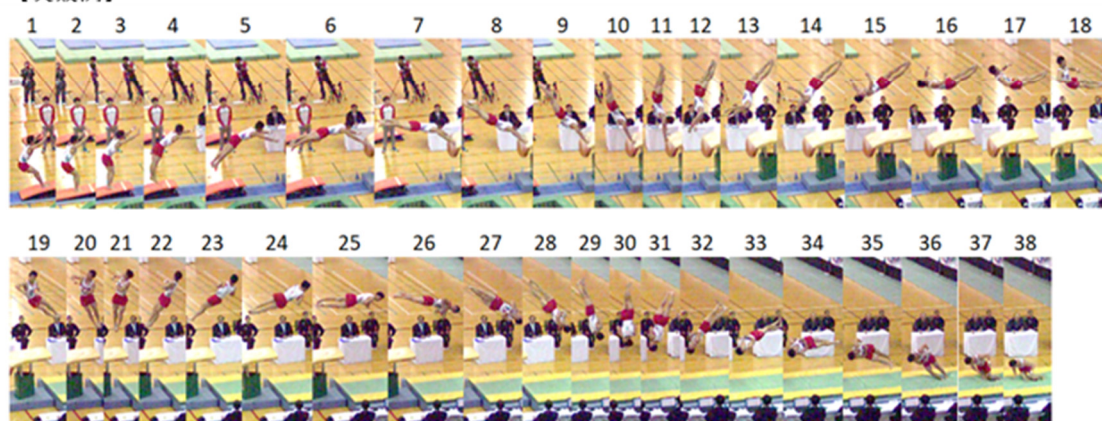


図1 「前転とび前方伸身宙返り5/2ひねり(Yeo2)」の成功例(上段)と失敗例(下段)

表1 2名の選手の身体的特性および得点

	成功した選手	失敗した選手
身長 (cm)	160	164
体重 (kg)	51	60
Dスコア (点)	6.0	6.0
Eスコア (点)	9.400	8.100
ライン減点 (点)	0.0	0.1
得点 (点)	15.400	14.000

3. データ処理

(1) デジタイズ

身体分析点22点(頭頂, 胸骨上縁, 左右の耳珠点, 左右の肩峰, 肘, 手首, 第三中手指節関節, 大転子, 膝関節中心, 足関節中心, 踵, つま先)をデジタイズし, 3次元DLT法によって3次元座標を得た. 得られた座標は, 遮断周波数10Hz のButterworth low-pass digital filterを用いて平滑化した.

(2) 座標系および剛体リンクモデルの定義

馬体離手まではひねり動作を伴わないため, 分析は身体各部の 3 次元座標を矢状面に投影して 2 次元的に分析を行った. 左右のセグメントの位置座標から阿江ら(1992)の身体部分慣性係数を用いて, 頭部, 体幹部, 左右の手, 前腕, 上腕, 大腿, 下腿, 足の 14 のセグメントから成る剛体リンクモデルを形成した. 各変量を算出するため, 跳躍方向から見て馬体の最も手前の縁から下方向へ垂線を引き, 床面と交わる部分から助走路方向へ 5m 離れた床面を原点 O とし, 跳躍方向に水平に X 軸, 鉛直方向に上向きに Y 軸とする 2 次元静止座標系 $R_G(\bar{X}, \bar{Y})$ を用いた(図 2).

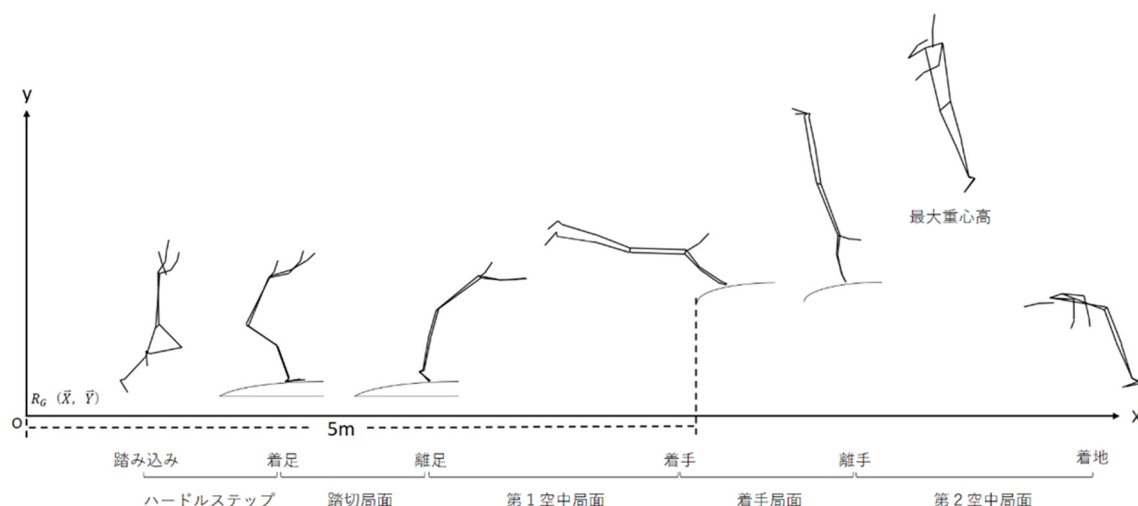


図2 座標系の定義と跳躍の局面分け

4. 局面分けと算出項目およびデータの規格化

本研究では, 助走から踏切に移るための最後の 1 歩の足部が助走路から離れた瞬間(踏み込み)から足部が跳躍板に触れた瞬間(着足)をハードルステップ局面, 着足してから足部が跳躍板から離れた瞬間(離足)までを踏切局面, 離足から手部が馬体に触れた瞬間(着手)までを第 1 空中局面, 着手してから手部が馬体を離れる瞬間(離手)までを着手局面, 離手から着地までを第 2 空中局面とした(図 2). 各試技間で踏切局面および着手局面に要する動作時間が異なるため, 比較を容易にするためにスプライン関数を用いて踏切局面と着手局面をそれぞれ 0~100%に規格化した.

算出項目について, 3 次元 DLT 法により得られた座標から以下の分析項目を算出した.

- (1) 踏切局面, 第 1 空中局面, 着手局面, 第 2 空中局面における実際の動作時間
- (2) 床面に対する身体重心高と, 身体重心速度および速度変換比

なお, 速度変換比は下記の通りである.

【踏切局面】着足時の水平速度に対する離足時の鉛直速度の割合

【着手局面】着手時の水平速度に対する離手時の鉛直速度の割合

(3) 身体重心距離(図 3)

【踏切局面】身体重心とつま先を結んだ線分の長さ

【着手局面】身体重心と第三中手指節関節とを結んだ線分の長さ

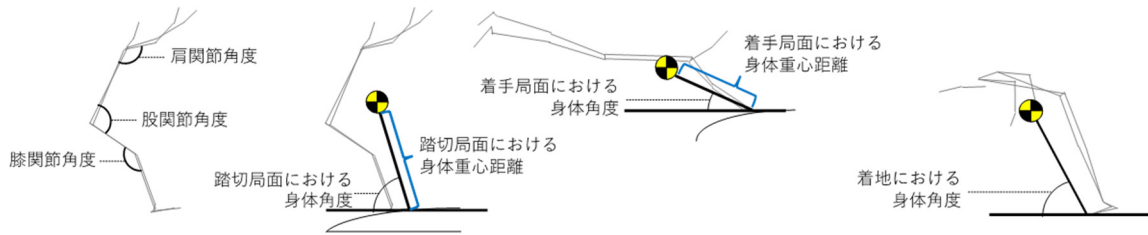


図3 関節角度定義と身体角度および身体重心距離の定義

(4) 身体角度および身体角速度(図 3)

【踏切局面】身体重心とつま先を結んだ線分と水平線がなす角度

【着手局面】身体重心と第三中手指節関節とを結んだ線分と水平線がなす角度

(5) 関節角度(図 3)

関節角度定義について, 肩関節角度は, 肩峰から肘へ向かうベクトルと肩峰から大転子へ向かうベクトルの内積を用いて算出した. 股関節角度は, 大転子から肩峰へ向かうベクトルと大転子から膝関節中心に向かうベクトルの内積を用いて算出した. 膝関節角度は, 膝関節中心から大転子に向かうベクトルと膝関節中心から足関節中心に向かうベクトルの内積を用いて算出した. なお, 180° を超える場合の関節角度を補正するため, 各関節角度をなす 2 つのベクトルを外積してベクトル積を得た. 関節角度が 180° を超えベクトル積の符号が変化した場合に, 360° から関節角度を引くことで補正した関節角度を算出した. 関節角度は各関節角度の左右の平均値とした.

【踏切局面】膝関節角度および股関節角度

【着手局面】股関節角度および肩関節角度

(6) 身体重心周りの全身の角運動量(H)

なお, 角運動量(H)は以下の式により算出した.

$$H = \sum_{i=1}^{14} (I_i \omega_i + r_i \times m_i v_i)$$

ここで, I_i はセグメント*i*の慣性モーメント, ω_i はセグメント*i*の角速度ベクトル, r_i は身体重心に対するセグメント*i*の部分重心の相対位置ベクトル, m_i はセグメント*i*の質量, v_i は身体重心に対するセグメント*i*の部分重心の相対速度ベクトルである. 全身の角運動量は, Hinrichs(1983)の方法に基づいて被験者の身長²と身体質量で規格化した. したがって, 結果で示す表には, 角運動量の

単位を(s^{-1})で示し, 規格化角運動量として表示した.

III. 結果

1. 動作時間および身体重心に関するパラメータの比較

表 2 には, 両試技における各局面の動作時間および着地時の身体角度を示した. 各局面で両試技間の差が最も大きかったのは, 第 2 空中局面における動作時間であった(時間差:0.134s). 着地時の身体角度について, 成功試技が 62.9° , 失敗試技が 50.5° であり, 失敗試技の角度が小さかった.

表2 各局面における成功試技および失敗試技の動作時間と着地時の身体角度

局面		成功試技	失敗試技
動作時間 (s)	踏切局面 (着足～離足)	0.108	0.112
	第1空中局面 (離足～着手)	0.108	0.140
	着手局面 (着手～離手)	0.148	0.140
	第2空中局面 (離手～着地)	1.074	0.940
身体角度 (deg)	着地時	62.9	50.5

表 3 には, 各時点における身体重心高および身体重心の速度と, 各局面における速度変換比を示した. 失敗試技は成功試技と比較して, ハードルステップ局面における最大重心高が高かった(成功試技:1.03m, 失敗試技:1.11m). また, 失敗試技は成功試技より重心が高い位置で着手していたが(成功試技:1.62m, 失敗試技:1.73m), 離手時および第 2 空中局面では成功試技の重心高が高くなった. なお, 両試技間で最も大きな差が生じたのは第 2 空中局面の最大重心高であった(成功試技 = 3.09m, 失敗試技 = 2.86m). 成功試技における身体重心の水平速度は, 着足時, 離足時, 着手時に失敗試技より高値を示したが, 離手時にはわずかに失敗試技の値が高くなった. 鉛直速度は, 着足時から離手時まで成功試技が失敗試技よりも高値であった. なお, 第 1 空中局面で両試技間の鉛直速度の差が広がった. 速度変換比は, 踏切局面で失敗試技が高値を示したが, 反対に着手局面では成功試技が失敗試技の値を上回った.

表3 各局面における成功試技および失敗試技の身体重心高、身体重心速度、身体重心の速度変換比

パラメータ		成功試技	失敗試技	
床面に対する 身体重心の高さ (m)	ハードルステップ局面最大	1.03	1.11	
	着足時	0.95	0.99	
	離足時	1.18	1.19	
	着手時	1.62	1.73	
	離手時	2.25	2.21	
	第2空中局面最大	3.09	2.86	
水平速度 (m/s)	踏切局面	着足時	8.69	8.22
		離足時	5.22	4.93
	着手局面	着手時	5.26	5.06
		離手時	2.89	3.01
鉛直速度 (m/s)	踏切局面	着足時	-1.11	-1.48
		離足時	4.42	4.28
	着手局面	着手時	3.77	3.21
		離手時	3.86	3.22
水平速度変化 (m/s)	踏切局面	-3.47	-3.30	
	着手局面	-2.37	-2.04	
鉛直速度変化 (m/s)	踏切局面	5.53	5.76	
	着手局面	0.09	0.01	
速度変換比 (鉛直速度/水平速度)	踏切局面	0.51	0.52	
	着手局面	0.73	0.64	

2. 身体角度および身体角速度の変化と身体重心距離変化

図4には踏切局面における身体角度および身体角速度の変化と、身体重心距離の変化を示した。離足時の身体角度は失敗試技と比較して成功試技が大きかったが、大きな差は認められなかった。同局面の身体角速度は、成功試技が終始高値を示した。身体重心距離変化について、失敗試技は局面中盤まで大きな変化がなく、中盤から離足までの間に距離が増大した。一方、成功試技は失敗試技に対して着足時の身体重心距離が短かく、その後離足まで距離が増大し続けた。

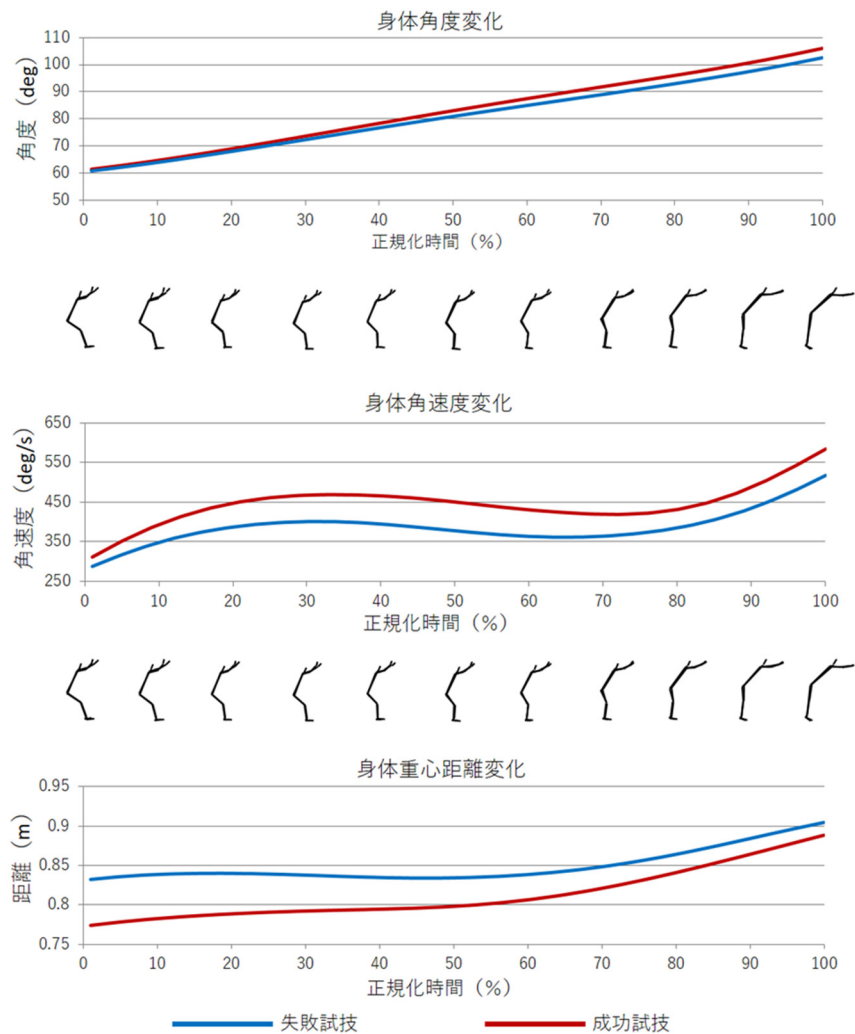


図4 踏切局面における身体角度(上段)および身体角速度(中段)と身体重心距離(下段)の変化

図 5 には、着手局面における身体角度および身体角速度の変化と、身体重心距離変化を示した。身体角度は、着手時に成功試技が失敗試技より低値であった。身体角速度の変化は、両試技で類似した位相を示した。ただし、着手から 30% 付近までの間に成功試技の値が急激に増大したのに対し、失敗試技は増大の度合いが小さかった。その後 80% 付近から離手にかけて、成功試技より失敗試技の角速度が大きくなった。身体重心距離の変化についても両試技間で類似した位相を示したが、失敗試技は着手時と離手時の値に大きな変化がなかったのに対し、成功試技は離手時より着手時の身体重心距離が短かった。

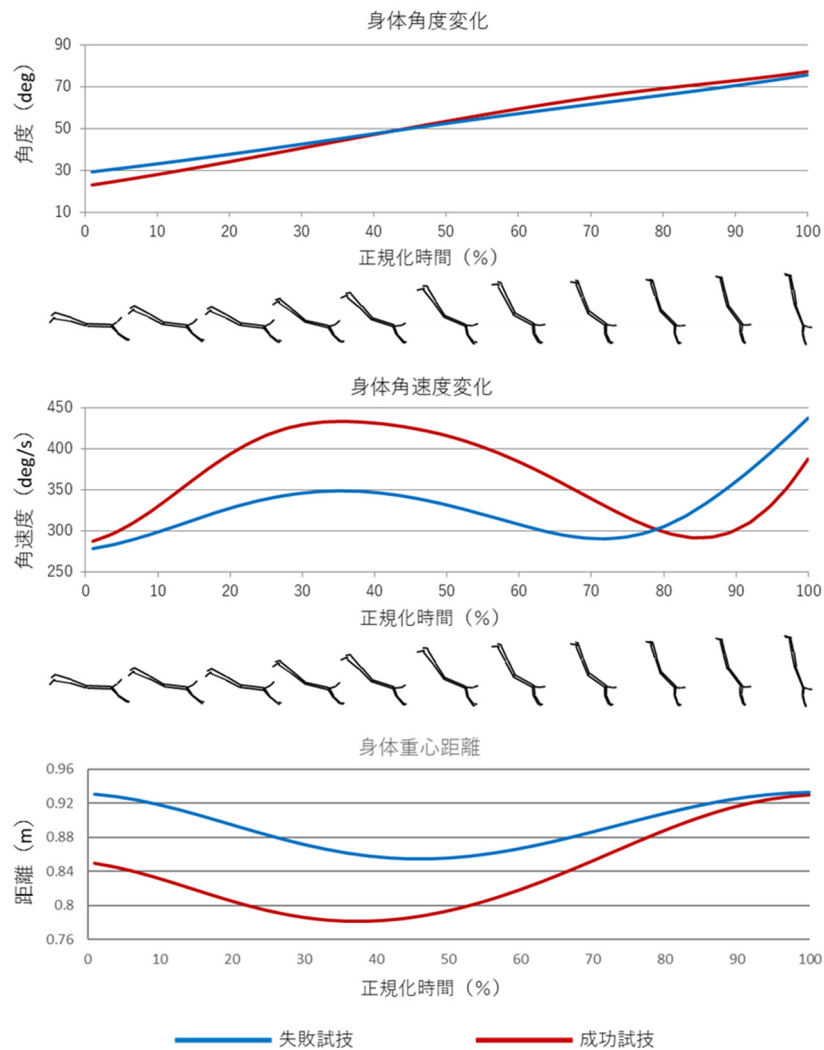


図5 着手局面における身体角度(上段)および身体角速度(中段)と身体重心距離(下段)の変化

3. 関節角度変化

図 6 には, 踏切局面における膝関節と股関節の角度変化を示した. 膝関節角度変化について, 両試技とも着足後に一度屈曲し, その後離足に向けて伸展した. 両試技で着足時と離足時の関節角度に大きな差はみられなかったが, 最大屈曲角度は成功試技より失敗試技の方が大きかった. 股関節角度変化は成功試技と失敗試技ともに着足から離足まで伸展し続け, 両試技間に顕著な差はみられなかった.

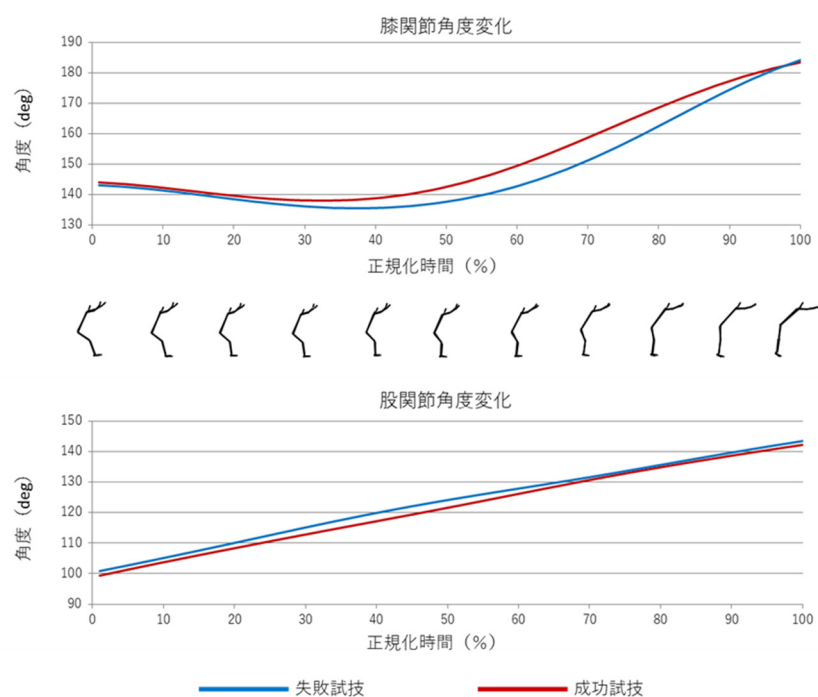


図6 踏切局面における膝関節角度変化(上段)および股関節角度変化(下段)

図 7 には, 着手局面における肩関節と股関節の角度変化を示した. 失敗試技は股関節が直線に近い状態で着手し, 離手に向けて伸展方向に角度が増大した. 一方, 成功試技は失敗試技に対して着手時の股関節角度が大きく, 局面中盤で伸展角度のピークを迎えた後, 離手までの間に屈曲方向に動いた. 肩関節角度の変化については, 失敗試技が着手から離手まで屈曲角度が増大し続けたのに対し, 成功試技は局面中盤で一度伸展方向に動き, その後離手に向けて再度増大した.

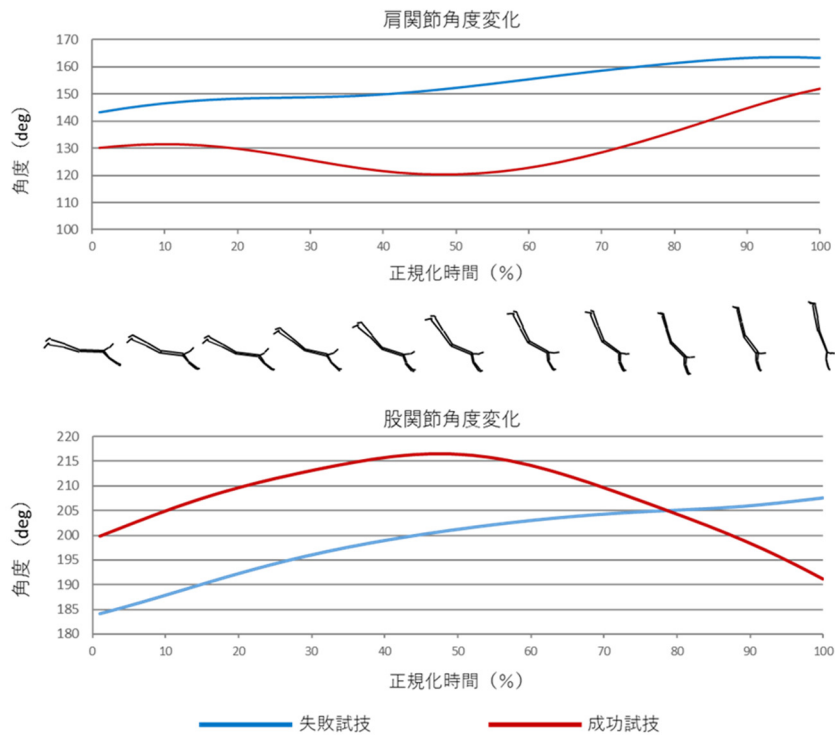


図7 着手局面における肩関節角度変化(上段)および股関節角度変化(下段)

4. 踏切局面および着手局面における角運動量変化

図 8 には踏切局面および着手局面における身体重心周りの角運動量変化を示した。両試技とも踏切局面では着足直後から値が増大した。失敗試技に対し成功試技の値が増大しはじめるタイミングがわずかに早かったが、離足時には両試技とも同程度の値を示した(成功試技 $=0.549\text{s}^{-1}$, 失敗試技 $=0.558\text{s}^{-1}$)。着手局面では、両試技とも値が小さくなった。なお、成功試技は失敗試技と比較して値がより大きく減少し、離手時には失敗試技より成功試技の値が小さかった(成功試技 $=0.440\text{s}^{-1}$, 失敗試技 $=0.480\text{s}^{-1}$)ことから、成功試技は失敗試技に対して第 2 空中局面における身体重心周りの回転の勢いが小さかったことが明らかになった。

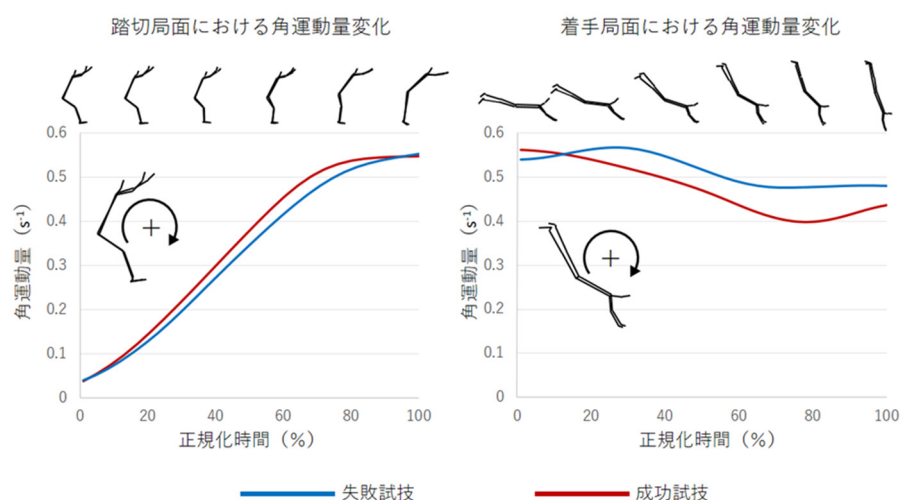


図8 踏切局面における身体重心周りの角運動量変化(左)と、着手局面における身体重心周りの角運動量変化(右)

IV. 考察

本研究では、「前転とび前方伸身宙返り 5/2 ひねり(Yeo2)」の成功試技と失敗試技の跳躍動作を比較し、失敗に至った原因と跳躍を成功させるための留意点を明確にするため、バイオメカニクスの観点から矢状面内で 2 次的に分析した。その結果、各局面において運動学的な相違が認められ、技の成功に繋がるポイントを探ることができた。

1. 成功試技と失敗試技の運動学的パラメータの比較

失敗試技は成功試技と比較して、着地時の身体角度が小さかったことから、身体の回転の量が不足していたことが示唆される。さらに、失敗試技は成功試技よりも第 2 空中局面における動作時間が短かったことから、回転を完了するだけの時間が不足したことにより失敗に至ったと考えられる。ここで他のパラメータに注目すると、失敗試技は馬体離手時における身体重心周りの角運動量の値が大きかった一方で、第 2 空中局面における身体重心高が低かった。先行研究では、第 2 空中局面における身体重心の高さは技を成功させ高得点を得るための重要なパラメータの 1 つであると報告している(Takei and Kim, 1990, Takei, 1992, 2003, 2007, Farana et al., 2013)。さらに、国際体操連盟は、採点規則の中で「第 2 空中局面において、選手は跳馬を突き放してから重心の上昇を明確に示さなければならない

い」ことを明記しており、採点の観点からも第 2 空中局面における身体の高さの重要性を指摘している (FIG, 2013). 跳馬で多回転の宙返りやひねりを伴う技を実施する場合、その動作を完了させるための時間的な余裕を必要とするため、本研究で失敗試技の第 2 空中局面における動作時間が不足したのは、第 2 空中局面における身体重心高が低かったことが大きく影響したと推察される。

第 2 空中局面における身体の高さは馬体離手時の身体重心の鉛直速度に影響される。したがって、選手は着手動作により身体重心の鉛直速度を増大させる必要がある。その際、選手は上肢で馬体を力強く突き放す「ブロック動作」を行うことで、着手時に身体のもつ水平速度を鉛直速度に変換している (Takei, 1992). 離手時に大きな鉛直速度を獲得するためには、着手するまでに大きな水平速度を獲得しておくことが非常に重要である (Takei and Kim, 1990, Takei, 1992). この点について、失敗試技は成功試技と比較して着手時における身体重心の水平速度が小さかったことから、離手時に鉛直速度を獲得するのに不利な初期条件で着手していたと考えられる。さらに、本研究の結果をみると、両試技とも身体重心の鉛直速度は踏切局面で大きく増大した後、第 1 空中局面で減少し、着手局面では大きく変化しなかった (表 3). そのため、大きな鉛直速度で離手するためには、踏切局面で大きな鉛直速度を獲得しておくことも重要であると考えられる。しかし、失敗試技は成功試技よりも離足時の鉛直速度が小さく、第 1 空中局面における鉛直速度の減少量も大きかった。このことにより、失敗試技は成功試技と比較して馬体着手時の鉛直速度が小さく、離手時の鉛直速度の低値につながったと推察される。本研究の失敗試技は着手時に成功試技と同程度の身体重心周りの角運動量をもっていたことから、第 1 空中局面で身体重心の鉛直速度が大きく減少する前に、少しでも早く馬体に着手する必要があったことが示唆される。

また、失敗試技は成功試技と比較して何らかの原因により着手局面における速度変換比が小さく (この点については後述する)、着手時の身体重心の水平速度を効果的に離手時の鉛直速度に変換することができなかった。つまり、失敗試技が馬体離手時に大きな鉛直速度を得られなかったのは、着手時のパラメータだけでなく着手動作も要因の 1 つであると推察される。

2. パラメータの相違の要因となった動作の検討

ここまでは、主に踏切局面と着手局面における両試技の運動学的パラメータの相違について述べた。これらの結果を指導現場に活かすためには、なぜそのような違いが生じたかを明らかにする必要がある。そこで本研究では、両試技の身体動作を比較し、前述したパラメータに差が生じた要因について調査した。

着手時に身体がもつパラメータは第 1 空中局面のパラメータに影響され、第 1 空中局面の力学的パラメータはほぼ踏切によって決定されるため、踏切動作は特に重要であると考えられている (佐野ら, 2015). 踏切局面は、助走で得た身体重心の水平速度の一部を鉛直方向に変換し、身体の回転を発生させる局面である。着手局面では身体重心の水平速度および身体重心周りの角運動量が減少するため、跳躍板離足時に大きな水平速度と角運動量を獲得しておくことが重要である。本研究では、両試技間で離足時の角運動量に差はみられなかったが、離足時における身体重心の水平速度は成功試技に対し失敗試技が低値を示した。踏切局面における水平速度の減少量には両試技間でほとんど差がみられなかったことから、離足時の水平速度の差は跳躍板着足時の水平速度の差に影響されたと

推察される。馬体への着手が遅れないためにも、失敗試技は着足時により大きな水平速度を持つことが望ましい。しかし、失敗した選手が Yeo2 を競技会で実施したことを考慮すると、普段から本研究と同程度の水平速度で着足しても成功していた可能性が高いと考えられる。したがって、本研究では失敗試技について着足時の水平速度以外の原因を探ることとした。身体重心の鉛直速度変化に着目すると、成功試技と比較して失敗試技の踏切局面における速度変化が大きいにもかかわらず、離足時の鉛直速度が小さかった。これは成功試技に比べ失敗試技のハードルステップ局面における最大身体重心高が高かったことにより、着足時の鉛直下向きの速度が大きくなったと推察される。ハードルステップが高くなった要因として、助走の歩幅が合わなかったことやハードルステップを行う最後の一步で力んでしまったことなどが考えられる。このことから、成功試技と比較して失敗試技は着足時の水平速度が小さかったが、ハードルステップを低く実施できていれば離足時により大きな鉛直速度を獲得し、技を成功させられた可能性が示唆される。

また、失敗試技は成功試技と比較して、着手局面における身体重心の速度変換比が小さく、着手動作にも課題を有することが示唆された。着手時の身体角度をみると、成功試技は失敗試技と比較して角度が小さかった。Takei(1992)は、身体角度が小さい位置で着手することにより、着手局面で身体重心周りの角運動量が減少すると報告している。さらに、着手局面での角運動量の変化と離手時の身体重心の鉛直速度の値との間に有意な相関関係があり、角運動量の減少が大きいと馬体離手時の鉛直速度も大きい傾向にあることを明らかにしている。本研究の成功試技も失敗試技と比較して着手局面における角運動量の減少が大きく(図 8)、鉛直速度変化も正の方向に大きかった(表 3)。このことから、成功試技は着手局面で、離手時における身体重心の鉛直速度を増大させやすい位置で着手していたことが示唆される。なお、失敗試技は第 1 空中局面の動作時間が長かったことで離足から着手までに身体がより回転したため、成功試技よりも着手時の身体角度が大きくなったと推察される。

また、成功試技は失敗試技より着手局面前半の身体角速度が大きく、手部を中心に身体が素早く回転していた(図 5)。このときの身体重心距離に注目すると、成功試技は離手時よりも距離が短い状態で着手しており、さらに失敗試技と比較して身体重心距離が短かった。成功試技は身体重心距離が短いことで手部回りの慣性モーメントが小さくなり、その結果身体角速度が大きくなったと考えられる。ここで両試技における着手時の関節角度に注目すると、肩関節角度は失敗試技に対し成功試技が小さく、股関節角度は失敗試技に対し成功試技が大きかった。なお、失敗試技の股関節はほとんど真っすぐな状態であったのに対し、成功試技の股関節は過伸展していた(図 7)。このことから、成功試技の着手前半の身体重心距離が短かったのは、肩関節の屈曲および股関節の過伸展により、身体各セグメントが回転中心である手部に近づいたことによると考えられる。その後、着手後半は肩関節角度が屈曲方向へ、股関節角度が過伸展状態から屈曲方向に変化し、離手に向けて身体が伸身姿勢に近づくことで、身体重心距離が伸長した。本研究では力に関する分析を行っていないため断定はできないが、身体が真っすぐに伸びようとする際に身体から跳馬に作用する力積の反作用として、跳馬から身体に作用する力積が身体重心の鉛直速度の獲得に貢献している可能性が考えられる。つまり、成功試技は身体を棒のようにしてブロックするのではなく、身体が剛性の高い“ばね”のような振る舞いをすることで鉛直速度を産出していたことが示唆される。一方、失敗試技は馬体着手時に身体が真っ直ぐ伸びた状態に近く、さらに離手まで肩関節および股関節の角度が増大することで、成功試技のような身体重

心距離の伸長による鉛直速度の獲得ができなかった可能性が考えられる。跳躍板離足時の股関節角度には両試技間で大きな差がみられなかったことから、第 1 空中局面で成功試技は失敗試技より股関節がより大きく伸展方向に動いていたことが明らかになった。このような股関節の伸展動作を、指導現場では「足の振り上げ」と表現することが多い。成功試技は第 1 空中局面で足の振り上げが十分になされていたため、着手時の水平速度を効率よく鉛直速度に変換し、着手後半で鉛直速度を産出する動作が可能であったと考えられる。反対に、失敗試技は第 1 空中局面における足の振り上げが不十分であったため、着手局面で身体重心の水平速度から鉛直速度への効果的な速度変換がなされず、着手後半で鉛直速度を産出する動作を十分に行えなかった。その結果、第 2 空中局面の高さ不足につながったと推察される。ただし、着手局面では大きな力が身体に作用するため(Takei, 1992)、身体に力を入れた状態、指導現場で言ういわゆる「体を締めた」状態で足の振り上げおよび着手動作を行うことが重要であろう。

V. 結論

本研究では、跳馬の「前転とび前方伸身宙返り 5/2 ひねり(Yeo2)」における失敗の原因を探り成功するためのポイントを明確にすることを目的として、主に踏切局面および着手局面について分析を行った。本研究の結果から以下のことが明らかになった。

1. 失敗試技は成功試技と比較して第 2 空中局面における身体重心高が低かった。これは、着手時における失敗試技の水平速度および鉛直速度、着手局面における速度変換比が小さかったことにより、離手時に大きな鉛直速度を得るのに不利な条件で着手動作を行っていたことが要因であると推察される。
2. 失敗試技は成功試技に比べ、踏切局面における身体重心の鉛直速度変化は大きかったものの、離足時の鉛直速度は小さかった。これは、ハードルステップ局面における失敗試技の最大身体重心高が高く、着足時に鉛直下向きの速度が大きくなったためであると推察される。このことから、失敗試技はハードルステップを低く実施できていれば離足時により大きな鉛直速度を獲得し、技を成功させられた可能性が示唆される。
3. 失敗試技は成功試技と比較して着手局面における身体重心の速度変換比が小さく、着手時における身体重心の水平速度を効果的に離手時の鉛直速度に変換することができなかった。一方で、成功試技は着手時に身体角度が小さく、離手時に鉛直速度を増大させやすい条件で着手していた。さらに、第 1 空中局面で股関節が大きく伸展方向に動いており(足の振り上げを行っており)、手部回りの慣性モーメントが小さくなることで身体が素早く回転していた。着手時の水平速度を効率よく離手時の鉛直速度に変換するため、第 1 空中局面においては足の振り上げ動作を強く行うことおよび着手が遅れないようにすることが重要である。
4. 失敗試技は成功試技と比較して、着手局面における身体重心距離の伸長の幅が小さかった。着手局面で鉛直速度を産出する動作を行いやすくするためにも、「体を締めた」状態で第 1 空中局面における足の振り上げ動作を行うことが必要であると考えられる。

本研究では, Yeo2 の成功と失敗に影響し得るパラメータを明らかにした. それらのうちのいくつかは, これまでにも跳馬に関する研究でパフォーマンス向上のために重要とされていることと同様であった. ただし, Yeo2 は国内で実施する選手が少ないがゆえに, 本研究でも 2 試技の分析にとどまっている. 今後はより多くのデータを収集し, 高得点を獲得するための演技実施(より良い動作)について分析を進める必要があろう.

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.
- ・ Atiković, A., and Smajlović, N.(2011)Relation between vault difficulty values and biomechanical parameters in men's artistic gymnastics. Science of gymnastics journal. 3(3):91-105
- ・ Farana, R., Uchytíl, J., Zahradník, D., and Jandačka, D.(2013)Kinematic analysis of “lou yun” vaults performed by top level male gymnasts : relationship between kinematic variables and judges' score. Acta universitatis palackianae olomucensis. gymnica. 43(1):17-25.
- ・ Hinrichs, R. N., Cavanagh, P. R., and Williams, K. R.(1983)Upper extremity contributions to angular momentum in running. Biomechanics VIII-B, Human kinetics pub. inc:pp.641-647.
- ・ International Gymnastics Federation(2013). 2013 Code of point. p.94.
- ・ 佐野真也(2007)体操跳馬の踏切動作. 体育の科学. 57(7):511-515.
- ・ 佐野真也, 池上康男, 布目寛幸, 桜井伸二(2015)跳馬の踏切局面における跳躍板の力学的役割. バイオメカニクス研究. 19(1):11-20.
- ・ Takei, Y., and Kim, E., J.(1990)Techniques used in performing the handspring and salto forward tucked vault at the 1988 olympic games. International journal of sport biomechanics. 6:111-138.
- ・ Takei, Y.(1991a)A comparison of techniques used in performing the men's compulsory gymnastic vault at the 1988 olympics. International journal of sport biomechanics. 7:54-75.
- ・ Takei, Y.(1991b)Comparison of blocking and postflight techniques of male gymnasts performing the 1988 olympic compulsory vault. International journal of sport biomechanics. 7:371-391.
- ・ Takei, Y.(1992)Blocking and postflight techniques of male gymnasts performing the compulsory vault at the 1988 olympics. International journal of sport biomechanics. 8:87-110.
- ・ Takei, Y., Dunn, H., Blucker, E., Nohara, H., and Yamashita, N.(2000)Techniques used in high- and low-scoring hecht vaults performed at the 1995 world gymnastics championships. Journal of applied biomechanics. 16:180-195.
- ・ Takei, Y. (2007) The roche vault performed by elite gymnasts : somersaulting technique, deterministic model, and judges' scores. Journal of applied biomechanics. 23:1-11.
- ・ 土屋純(2007)体操競技の技術トレーニングにおける運動分析の意義と方法. スポーツ科学研究. 4: 18-27.