

[原 著]

## 跳馬における伸身カサマツ跳び動作の局面別力学的分析

堀内担志<sup>1)</sup>, 朴鍾勳<sup>2)</sup>, 相原豊<sup>3)</sup>, 權仁善<sup>4)</sup>, 中野大輔<sup>4)</sup>

## A Kinetic Analysis of Kasamatsu Stretched Motion at Horse Vaulting

Tanji HORIUCHI<sup>1)</sup>, JongHoon PARK<sup>2)</sup>, Yutaka AIHARA<sup>3)</sup>, InSeon KWON<sup>4)</sup>, and Daisuke NAKANO<sup>4)</sup>

### ABSTRACT

This paper aims to closely examine how the difference of kinetic variables by take-off state of Vault Kasamasu stretched motion would have an effect on the rotation of the post flight and landing. For this, this researcher made 3 time performance of 3 national artistic gymnastics athletics the subject of research, and as a result of a three dimensional analysis using the high speed video camera and measuring the force applied to the board and the horse and comparing the kinetic variables, got the following conclusion.

1. The more skilful, the motion at contact board, the shorter the time and moving distance of the pre-flight becomes as it has a rapid access to the board, and converts to vertical upward motion. On the contrary, the big motion according to the increase of moving distance and flight time increases the force applied to the horse, but makes the body fall forward, resulting in the decrease of flight power.

2. At the time of take-off the horse, rapid ascending velocity and maintenance of the body angle close to vertical state increases the time and moving distance of the post-flight, and enables rotation motion in the air. This is the result of enlarging the shoulder angle, lessening the body angular velocity and approaching to the vault for stronger Blocking motion. Also prolongation of contact at the board and rapidity of the body angular velocity causes a barrier to the maintenance of Blocking angle, and has an side effect on the increase of post-flight and flight height.

3. At the post-flight, enlargement of twisting distance before peak, rapidly finishes the 1st round twisting motion, generates proper control of the position and velocity of body CG before landing and enables stable landing motion. On the other hand, passive twisting motion and short flight distance at the initial state of flight rotation focuses on twisting motion and rotation motion to the end and induces unstable landing motion.

**KEY WORDS:** Kinetic, Motion, phase, Three-dimensional analysis.

---

1) 九州共立大学スポーツ学部  
2) 關東大学  
3) 九州女子短期大学  
4) 九州共立大学

1) Kyushu Kyoritsu University Faculty of Sports  
Science  
2) Kwandong University  
3) Kyushu Women's Junior College  
4) Kyushu Kyoritsu University

## I. 緒言

現在の男子体操競技は6種目あり、2006年のルール改訂により10点満点制度が廃止され、演技得点は演技内容を評価したAスコアと演技実施を評価したBスコアの合計で算出されることとなった。1種目でAスコアとしてカウントされる技数は10技であるが跳馬運動は、技術の系統や難度で分けられたグループ1～5の跳躍グループから1技の単一技術として演技が成り立っている。また技術の難度は転回運動形態変化と跳馬離手後の空中回転運動の身体姿勢や回転回数および捻り回数によって決まる。

そして、この採点規則及び競技規則によって選手達は精神的・肉体的にも負荷が増大し、また演技内容となるAスコアはより高度な技術発展が成りたっており、演技実施を評価するBスコアの評価項目としては以下の6項目がある。

- a) 第1局面、片手または両手による着手まで。
- b) 第2局面、馬体を突き放してから着地まで、選手は馬体を突き放してから明確な上昇運動を示さなければならない。
- c) 突き手の際の身体の姿勢。
- d) 跳馬の中心から軸ずれに応じた減点。
- e) 演技全体をとおして正しい技術での実施。
- f) 着地。

したがって、b)・c)で述べられているとおり多彩で高難度の技術を美しく実施できる能力を要求しているため世界レベルの選手たちは負傷の危険を冒して多彩な要素での高難度技術習得に多くの関心を持つようになった。

跳馬における伸身カサマツ跳び(Aスコア=5.4)は側転跳び後に側方に回転しながら、体を伸ばした後、前方宙返り1/2ひねりをする技術でグループ4の跳躍グループである。グループ4は跳馬に側方で取り掛かるため跳躍力を大きく落とす欠点を持っている。しかし、側転着手後に直ちに回転運動が成り立って回転運動前半に身体の回転角距離を大きく維持することができるため跳馬において空中回転を初めて試みる選手達に適用することが非常に容易であるというメリットを持っている。また、第2局面で1回ひねることで0.8点のAスコア上昇、2回ひねることで最高難度である7.0のAスコアを獲得できる特徴を持っている。したがって、習得しやすい技術と未来志向的な技術の選択のため、そして多彩な技術を駆使しなければならない新しい採点規則に適応するためにはこれに対する

研究が裏付けられなければならないであろう。

跳馬は側転跳び後方宙返りの先行研究としてDillman et al (1985)は側転跳び後方宙返りを行うときは前転跳び前方宙返り動作より跳馬の離手時に低い身体角と遅い垂直速度によって10cm程度低い滞空高さを維持するようになると報告しており、申甲浩(1997)などは跳馬着手時の身体の角速度と跳馬の離手時の身体中心の合成速度は着地距離を大きく増加させる要因であることを明らかにした。

Takei (1991)は第1局面とHurdle動作で大きい水平速度の維持と一緒に転回運動で突進するよりはBlockingを完全にさせることが重要であると報告した。また、Kwon (1990)、Elliott (1991) ユンフィズング(1996)、申甲浩(1997)などは跳馬離手時の身体中心の速度は各々の跳躍姿勢別に格段の差が現れている。これは第2局面(post flight)の跳躍距離と滞空時間に直接的な関連があると示している。

以上の先行研究等によると跳躍段階別運動学的要因の差によって第2局面の回転運動への貢献を別に行っていることが分かる。しかし回転運動以後の着地動作に及ぶ影響に関する言及が不足しておりグループ4の側方系統の技術と一緒にひねり運動が含まれた高難度技術に対する具体的な解明が十分でなく、踏み切りと跳馬着手時の反力に対がする解明はほとんどなされていない。

したがって、本研究は体操競技における跳馬種目の伸身カサマツ跳びを3次元的映像分析及び踏み切りと跳馬に加えられる反力測定による運動力学的分析を通じて跳躍段階別運動学的要因の差が第2局面に与える影響を明らかにすることを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 研究対象

本研究の対象者は跳馬運動伸身カサマツ跳び動作を遂行することができる韓国ナショナル選手3名であり、これらの演技を4人の国際審判員が採点した平均点数によって優秀な動作(以下; S1)と未熟な動作(以下; S2, S3)で区分して分析した。これらの身体的特性は表1のようである。

Table 1. Characteristics of the Examinee

被験者	身長(cm)	体重(kg)	年齢(year)	経歴(year)
S1	163.5	59.9	25	16
S2	165.2	58.9	21	13
S3	166.5	58.5	22	13
M±SD	165.1±1.5	59.1±0.7	22.1±2.1	14±1.7

2. 用語の定義

- 1) 踏み切り(board contact) 局面：足がロイター式踏み切り板（以下；ロイター板）に接触している区間.
- 2) 第1 (pre-flight) 局面：ロイター板跳躍時から跳馬着手瞬間までの跳躍区間.
- 3) 着手 (horse contact) 局面：手が跳馬に接触している区間.
- 4) 第2 (post-flight) 局面：跳馬離手時から足がマットに接触する瞬間までの空中回転運動区間.
- 5) 最高点 (Peak)：第2局面の空中動作の中で身体重心が最高になる瞬間.
- 6) 支持時間：ロイター板に足が接触している時間及び跳馬に手が接触している時間.
- 7) 滞空時間：ロイター板踏み切り時から跳馬着手時までかかった時間及び跳馬離手時からマット着地時までかかった時間.

- 8) 股関節角：大腿と胴体が成す相対角.
- 9) 肩関節角：上腕と胴体が成す相対角.
- 10) 跳躍時身体角及び空中回転角 (body angle)：足の中央と身体中心を引き継ぐ線がY軸と成す対角.
- 11) 跳馬接触時身体角 (body angle)：手の中央と身体中心を繋ぐ線がY軸と成す絶対角.
- 12) ひねり角 (twist angle)：X軸と成す肩線と尻線角度の平均.

3. 実験設備

本研究に使われた実験設備は撮影設備と分析設備及びロイター板と跳馬反力の測定設備で分類されて、その詳細な事項は表2のようである.

Table 2. Characteristics of Experimental Equipment

	器機名	製品明	製作社
反力測定装置	踏み切り・跳馬反力測定器		三友技術
	増幅器		三友技術
	A/D 変換器	PCL-812PG	Advantech
	コンピューター	SPC-7700P	Samsung
	Software		三友技術
撮影装置	Camcorder 2 台		Panasonic
	Control object	AG-195MP	V-tec
	Lamp indicator	Variable control object	韓国体育大学
	Video tape	S-VHS	SKC
分析装置	VCR	AG-7350	Panasonic
	Monitor	PVM-1942Q	Sony
	ビデオ分析プログラム	Kwon3D Ver.2.1	V-tec
	Computer	486-DX	LG

#### 4. 実験方法

まず跳馬器具は反力測定のためのプレートを跳馬着手面と支持台の間に挟みこんだ後国際体操連盟 (F.I.G) の規格とするため1.35mの高さで設置し、踏み切りは反力測定のために製作された器具の上に固定させ、跳馬助走ではロイター板反力測定のために製作された器具と同じ高さになるように高さ3cmで設置した。

2台のカムコーダは跳馬中央から左右側20m離れた地点に三脚で固定させて設置し、カムコーダのフィールドの中に全体動作、ギズンチョック、ランプインジケーターがすべて撮影できるようにカメラのレンズを調節した。この時撮影速度は90frames/secである。

本実験の撮影に入る前、0個の統制点が表示された統制点フレーム(高さ300cm, 長さ660cm, 幅200cm)を約1分間撮影した後、伸身カサマツ跳び動作を3回ずつ撮影した。この時ロイター板反力と跳馬反力データは被験者がロイター板踏み切りの約0.2秒の前にコンピューターのスペースバーを設定してロイター板反力と反力データを受け入れてコンピューターに保存した。また、コンピューターのスペースバーを設定する時、同時にランプインジケーターが作動するように設定し、これを基点に映像データとロイター板及び跳馬反力データを同調させた。

ロイター板と跳馬に加えられる反力の測定は各Load Cell 4個が附着した構造物をロイター板の底面にそして跳馬面付きと支持台の間に挟みこんで固定させて測定した。また正確な反力の分析のためにロイター板と跳馬構造物のFz(垂直荷重)は20kg分銅を500kgまであげて重量をNewtonに換算して設定した。またFxとFy(水平荷重)はもうNewton単位で重量が調整されたLoad Cellと別途のIndicator, そして特別に製作されたジグを利用, FxとFy信号だけ測定してIndicatorの数字とコンピューターの数字を一致させた。

#### 5. 統計処理

本研究で統制点の座標化と人体関節ピントの座標化, 同調, DLT方法による3次元座標計算と資料のスムディングはKwon (1994)が開発したプログラムを使った。人体のモデルは総21個の関節点による16個の身体分節で繋がれた剛体システムで定義して, 各分節の重量中心と全体重量中心の位置を計算するための人体分節モスチ (body segment parameters) はChandler など (1975) の資料を利用した。統計処理過程は60個の統制点を利用して糸空間座標が計算された後人体の

3次元座標が得られた。この時、軸定義は左右方向をX軸、運動進行方向をY軸、上下方向をZ軸に定義した。

各々のカムコーダから得た2次元座標は3次元スプライン関数を利用して0.01秒間隔で保管した。また3次元座標の計算はAbdel-AzizとKarara (1971)が開発したDLT (direct linear transformation) 方法によって計算され、ランプに電気が入って来るフィールド (field) をカムコーダ間同調イベント (synchronization event) で使った。またデジタルジグと機材自体によって生ずる雑音 (noise) による誤差除去はButterworth 2次低域通過フィルター (low-pass filter) を利用してスムディングし、遮断周波数は6Hzで設定した。

ロイター板と跳馬反力の統計処理は各測定構造物に附着した4個のLoad Cellから出たシグナル (signal) をAmplifierとA/D convertorが内蔵しているコンピューターを通じて各1秒に100回を受け入れて保存した。このシグナルは垂直反力と前後反力そして左右反力を含んでいるため、それぞれの反力の平均値を計算して分析用に使った。また、この時データ収集及び統計処理は三友技術で製作したプログラムを使った。

### III. 結果 及び 考察

#### 1. 第2局面

第2局面時の運動学的変因の結果を現わしたことは表3のようである。

表3によれば、跳躍時間はS1が0.9秒として一番長く現われ、飛距離と重心の最高点さでもS1は各3.63mと2.72mで一番大きく現われた。跳馬からの上昇距離はS1が0.3mで一番大きく現われ、平均跳躍の中でもまたS1が5.1m/sで一番早く現われた。またPeakまで身体の回転角距離は $407 \pm 1$ 度に前被験者がほとんど似ているように現われたがこの時のひねり角距離はS1が342度で一番大きく、S2が277度で一番小さく現われ、ひねり角速度はS3が757deg/sで一番早く、S2が393deg/sで一番遅く現われた。

一方着地時の運動学的変因をよく見れば、身体中心の高さはS1が0.54mで一番低く、S3が0.67mで一番高く現われ、身体中心の速度はS1が6.81m/sであり、一番早く、S3が6.21m/sで一番低く現われた。また股関節角はS1が130度で一番小さく、S3が140度で一番大きく現われ、また身体角はS1が51度で一番小さく、S3が58度で一番大きく現われ、ひねり角距離はS1が534度として他の被験者たちより大きく現われた。

Table 3. Biomechanical Factor of the Second Jump Stage

variables	S1	S2	S3	M±SD
Time of postflight, s	0.90	0.84	0.84	0.86±0.03
Dist, postflight, m	3.63	3.16	3.26	3.35±0.25
CGht at peak, m	2.72	2.63	2.63	2.66±0.05
Rise of CG, m	0.30	0.24	0.26	0.27±0.03
Ave. V <sub>R</sub> of postflight, m/s	5.10	4.81	4.88	4.93±0.15
AngD of body angle to peak, deg	407	408	407	407±1
Twisting AngD to Peak, deg	342	277	296	58±35
Twisting AngV at Peak, deg/s	408	393	757	519±206
CGht at TD, m	0.54	0.60	0.67	0.6±0.06
V <sub>R</sub> at TD, m/s	6.81	6.31	6.21	6.44±0.32
Hip angle at TD, deg	130	135	140	135±5
Body angle at TD, deg	51	56	58	55±4
Twisting AngD to TD, deg	534	525	525	58±35
AngV of body angle at TD, deg/s	69	296	68	144±131
Twisting AngV of hip line at TD, deg/s	9	431	113	144±131

Dist=Distance, CGht=Height of body CG, Rise of CG=Vertical displacement of body CG from TO to peak of post flight, Ave=Average, VR=Resultant velocity, AngD=Angular distance, AngV=Angular velocity, TD=Touchdown on mat.

また身体回転角速度はS2が296deg/sで他の被験者たちより非常に早く現われ、尻線のひねり角速度はS1が9deg/sで一番遅く、S2が431deg/sで一番早く現われた。

このような結果によれば、S1の場合跳躍時間が長く、跳躍高さや距離を大きくし、このことはPeak以前にも多いひねり距離を確保したことで現われた。これは余裕のある空中回転運動を誘発してほとんど完全な1回ひねり動作を成すようにし、着地時の小さな身体角を維持させて第2局面で大きい飛距離とともに現われ、早く進行された水平移動速度を適切に制御することができた。したがって着地時の低い中心高と狭い股関節角を維持するようにして安定した着地動作を遂行することができたことと考えられる。

また、S2の場合Peak以前、回転運動前半に非常に消極的なひねり運動が成り立つことで現われた。これは着地時のひねり距離を不足にさせただけでなく完全な1回ひねり動作を果すために最後の着地時までの身体の回転運動とひねり運動を強化させることによって結局、不安定な着地動作を誘発させることで現われた。

一方S3の場合Peak時からひねり角速度が非常に早く現われることではあるが、Peak以前、空中回転運動

の前半に不足だったひねり距離を確保しようと一時、遅れて強化させる結果で見られる。また身体中心の移動速度が遅くなって着地の安全性を予想することができるともかかわらず、着地時の小さなひねり角の維持と身体中心の高い位置、そして大きい股関節角と大きい身体角を維持することで着地後ひねり運動の制動が難しくなるのであり、尻もちを着きそうな実施で横に飛んで行く恐れが高いことと考えられる。

## 2. 踏み切り 局面

踏み切り局面時の運動力学的変因の結果を現わしたことは表4のようである。

表4によれば、踏み切り時間は0.1秒に全被験者が同じだった。また身体中心の水平変位と垂直変位はS3が各0.65mと0.26mで一番大きく現われた。ロイター板接触時の合成速度はS1が6.16m/sで一番早く現われ、ロイター板跳躍時の合成速度はS2とS3が各6.65m/sと6.66m/sでS1より早く現われた。また水平速度の変化を見るとS1 S3は各-0.62m/sと-0.41m/sに減速した。

一方S2は0.85m/sでむしろ増加したことで現われ、垂直速度の変化を見ればS1が2.88m/sで一番大きく変化され、一方S3は2.74m/sで一番小さく変化した。口

Table 4. Biomechanical Factor of the Take off

variables	subjects			
	S1	S2	S3	M±SD
Time on board, s	0.10	0.10	0.10	0.1±0
Horizontal DCG, m	0.63	0.55	0.65	0.61±0.05
Vertical DCG, m	0.24	0.24	0.26	0.25±0.01
V <sub>R</sub> at TD, m/s	6.16	4.67	5.14	5.32±0.76
V <sub>R</sub> at TO, m/s	6.59	6.65	6.66	6.63±0.04
Change of V <sub>H</sub> on board, m/s	-0.62	0.85	-0.41	-0.06±0.79
Change of V <sub>V</sub> on board, m/s	2.88	2.81	2.74	2.81±0.07
Hip angle at TD, deg	129	122	108	120±11
Body angle at TD, deg	78	80	82	80±2
Body angle at TO, deg	127	123	132	127±5
Ave. AngV of body angle, deg/s	480	413	494	462±43
Horizontal forces, N(B. W.)	1760(2.99)	1258(2.18)	1836(3.20)	1618±314 (2.79±0.53)
Vertical forces, N(B. W.)	8799(14.97)	11487(19.88)	9935(17.31)	10073±1349 (17.39±2.45)

DCG=Displacement of body CG on board, VR=Resultant velocity, TD=Touchdown on board, TO=Takeoff from board, VH=Horizontal velocity, VV=Vertical velocity, Ave=Average, AngV=Angular velocity.

イター板接触時の股の関節角はS1が129度で一番大きく現われ、ロイター板接触と離陸時の身体角はS3が各82度と132度で一番大きく現われ、平均身体角速度もS3が494deg/sで一番早く現われた。一方、ロイター板に加えられる最大力をよく見れば、最大水平力は被験者の体重の2.79±0.53倍で現われ、最大垂直力は被験者体重の17.39±2.45倍で現われた。また最大垂直力は未熟な動作であればあるほど大きく現われる特徴を見せた。

このような結果によれば、S1の場合ロイター板に早く近付いて素早く上体を立てて垂直で上昇する運動を強化させており、S2の場合ロイター板に遅く接近することによって、踏み切における水平移動速度を強化させるため、身体の小さな動きが誘発された。これは水平合成力よりは垂直合成力に大きく寄り掛かって弾性を起こすようにし、ロイター板跳躍時の身体回転角を小さくなるようにすることで現われた。またS3の場合ロイター板の上で身体の回転速度を早く、また、身体の移動変位を大きくすることで跳馬離手時の身体の回転角が大きくなるようになって合成速度を早く増加させることで現われた。

### 3. 第1局面

第1局面時の運動学的変因の結果を現わしたことは表5のようである。

表5によれば、飛行時間はS1が0.1秒で他の被験者たちより短く現われ、飛距離はS1が0.51mで一番短く、S3が0.66mで一番長く現われただけでなく飛行高さでもS1は1.63mで一番低く、S3は1.72mで一番高く現われた、また身体の回転角距離はS1が60度で他の被験者たちより小さく現われた一方、身体の回転角速度はS1が596deg/sで一番早く現われた。

このような結果によれば、S1の場合短い時間の内に小さな動きの跳躍を成すことで身体の回転運動が早く誘発された。これは跳躍間の上体を早く立てて垂直上昇運動で転換させることで自然に跳馬に手をつく動作を早く遂行するようにした結果と見られる。またS2とS3と一緒に身体の移動距離を大きくすれば滞空時間を長くして回転距離を増加させるが身体の早い回転運動を遂行するために大きい差をもたらすことで現われた。

Table 5. Biomechanical Factor of the First Stage

subjects	S1	S2	S3	M±SD
variables				
Time of preflight, s	0.10	0.12	0.12	0.11±0.01
Dist, preflight, m	0.51	0.58	0.66	0.58±0.07
CGht, of preflight, m	1.63	1.67	1.72	1.67±0.05
AngD of body angle, deg	60	64	64	63±2
Ave. AngV of body angle, deg/s	596	537	537	556±34

Dist=Distance, CGht=Height of body CG, AngD=Angular distance, Ave=Average, AngV=Angular velocity.

#### 4. 跳馬 着手 局面

跳馬着手局面時の運動力学的変因の結果を現わしたことは表6のようである。

表6によれば、跳馬着手時間はS1が0.27秒で他の被験者たちより短く現われ、水平変位は $1.16 \pm 0.01$ mであり、全被験者が類似していた。垂直変位はS1が0.78mで一番大きく、S3が0.65mで一番短く現われ、また身体中心の合成速度はS1が跳馬着手時5.73m/sで一番早く現われただけでなく跳馬離手時にも4.48m/sで他の被験者たちより早く現われた。肩角をよく見れば、

跳馬着手時のS1は160度で一番大きく、S2は124度で一番小さく現われ、跳馬離手時にも同じくS1は125度で他の被験者たちより大きく現われた。身体角をよく見れば、跳馬着手時のS2は4度で一番大きく現われた一方、S1とS2は0度で水平を成す角を現わしており、跳馬離手時のS1は127度で一番小さく、S3は144度で一番大きく現われた。また平均身体角速度はS1が471deg/sで一番遅く、また、S3が512deg/sで一番早く現われた。一方、跳馬に加えられる最大力をよく見れば、最大水平力は体重の $1.63 \pm 0.13$ 倍で現われたし、

Table 6. Biomechanical Factor of Touch Upon the Horse Vaulting

subjects	S1	S2	S3	M±SD
variables				
Time on horse, s	0.27	0.28	0.28	0.28±0.01
Horizontal DCG, m	1.16	1.16	1.15	1.16±0.01
Vertical DCG, m	0.78	0.71	0.65	0.71±0.07
V <sub>R</sub> at TD, m/s	5.73	5.55	5.61	5.63±0.09
V <sub>R</sub> at TO, m/s	4.48	3.98	4.17	4.21±0.25
Shoulder angle at TD, deg	160	124	140	141±18
Shoulder angle at TO, deg	125	110	109	115±9
Body angle at TD, deg	0	4	0	1±2
Body angle at TO, deg	127	141	144	137±9
Ave. AngV of body angle, deg/s	471	486	512	489±21
Horizontal forces, N(B. W.)	879(1.49)	1002(1.73)	964(1.68)	948±63 (1.63±0.13)
Vertical forces, N(B. W.)	1553(2.64)	1282(2.22)	1586(2.76)	1474±167 (2.54±0.28)

DCG=Displacement of body CG on horse, V<sub>R</sub>=Resultant velocity, TD=Touchdown on horse, TO=Takeoff from horse, Ave=Average, AngV=Angular velocity.

最大垂直力は体重の $2.54 \pm 0.28$ 倍で現われた。またS1は一番小さな水平力(1.49倍)を現わしており、S3は最大の垂直力(2.76倍)を現わし、S2は最大の水平力(1.73倍)と一番小さな垂直力(2.22倍)を現わす特徴を見せた。

以上の結果によれば、S1ように優秀な動作は大きい肩角と低い身体の傾斜角度を成しながら早い速度で跳馬に近づくことで現われた。これは第1局面の短い跳躍時間と早い回転運動によって跳馬に手を早くつくことができた結果であり、またこれは跳馬着手時間を短くして垂直移動距離を大きくし、跳馬離手時の身体が垂直に近い位置を維持することと同時に離手速度を早く増加させることで第2局面の長い跳躍時間と高く長い飛距離を提供することで現われた。未熟な動作であるS2の場合、踏み切り以後、肩関節を強く伸ばすことができないため、身体が前に倒れながら跳馬に近づくようになる。これは跳馬接触時の水平合力を大きくなるようにして身体の移動速度を低下させ、結局身体が前に崩れながら跳馬を離手するようになり、その結果、跳躍力を落とすような結果をもたらした。S3の場合、第1局面で形成された大きい動作によって跳馬の着手時間が長くなり、その結果、身体の回転運動にだけかたよる動作が成り立っている。これは跳馬離手時の垂直上昇のための理想的な離手角の維持に大きい悪影響をもたらし、その結果第2局面の滞空時間が短くなる実施となったと考えられる。

#### IV. 結論

本研究の目的は跳馬伸身カサマツ跳び動作の跳躍段階別運動力学的変因の差が第2局面の空中回転運動と着地にどんな影響を及ぶかを解明することにある。このために韓国ナショナル選手3名を対象に高速ビデオカメラを利用した3次元映像分析とロイター板と跳馬に加えられる力の測定を通じて運動力学的変因たちを比較分析した結果、次のような結論が得られた。

1. 踏み切り時、優秀な動作として早い踏み込みからのロイター板の反力を素早く垂直上昇運動に変え、第1局面の跳躍時間と移動距離を短くすることで現われた。一方、第1局面時、身体の移動距離と飛距離時間の増加による大きい動きは跳馬着手時、跳馬に加えられる力を大きくなるようにするが身体が前傾することは跳躍力を落とす悪影響が現われた。

2. 跳馬離手時、上昇速度を早くして垂直に近い身体角の維持は第2局面の跳躍時間と距離を増加させて余裕のある空中回転運動を提供する。これはより強いBlocking動作を遂行するために肩角を大きくし、身体角を小さくしながら早い速度で跳馬に近付いた結果である。また跳馬の接触支持時間が長くなって身体角速度が早くなるとBlocking角の維持に悪影響をもたらすようになり、第2局面の跳躍時間と滞空が短く、増加を防止する結果を及ぼすことが確認された。

3. 第2局面時、Peak以前にひねり距離を大きくすれば完全な1回ひねり運動が早く仕上げられて着地直前、身体中心の位置と速度を適切に制御する余裕を持つようになることで安定した着地動作を遂行する動作が現われた。一方、回転運動前半の消極的なひねり運動と、短い跳躍距離は跳躍そのものに余裕が無く不安定な着地動作を誘発させることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 財団法人日本体操協会(2006). 日本体操協会男子採点規則, 106-107
- 2) キムサンクウ, パクヨンジン(1944). 体操競技のクエルボとクエルボフルトン動作の運動学的分析. 韓国体育学会誌, 33(2), 133-143.
- 3) ノヨンジン, ユンヤンジン, ファンヨンソン(1995). 跳馬のTsukaharaにおける助走の運動学的分析. 釜山大学 師大論文集, 30, 297-316.
- 4) パクカンドン(1993). 回転系跳馬運動の助走動作の力学的分析. 韓国体育学会誌, 32(2), 251-272.
- 5) 朴鍾勳(1992). 跳馬競技の着地成功率に関する分析. 韓国体育学会誌, 31(1), 313-319.
- 6) 朴鍾勳(1999). 跳馬競技の前転跳びひねり後方宙返り動作の局面別力学的分析. 博士学位論文. 韓国体育大学 大学院.
- 7) 朴鍾勳(2000). 跳馬Cuervo 1回転ひねり動作の力学的分析. 第38回韓国体育学会学術発表論文集, 789-797.
- 8) 申甲浩, 朴鍾勳(1997). 跳馬Tsukahara動作の回転系運動が着地距離に及ぼす影響. 韓国体育学会誌, 36(1), 318-325.
- 9) 呂洪哲(1999). 男子跳馬における着手前空中回転540度ひねりの運動学的分析. 修士学位論文. 慶熙大学 教育大学院.
- 10) ユンヒジュン, リュジソン, 朴鍾勳(1996). 跳馬回転系動作の運動学的要因が着地距離に及ぼす影

- 響. 第34回韓国体育学会学術発表論文集, 623-629.
- 11) Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Directlinear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Proceeding : The Symposium on Close Range photogrammetry, Jan. 26-29, 1971, pp.1~8. Falls Church, VA: American Society of photogrammetry.
  - 12) Chandler, R. F., Clauser, C. E., Mc Conville, H. M. Reynolds, J. T. & Young, J. W.(1975). Investigation of inertial properties of the human body. Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-patterson Air Force Base, Ohio, 167.
  - 13) Dainis, A.(1979). Cinematographic Analysis of the Handspring Vault. The Research Quarterly, Vol, 50, No, 3, 341-349.
  - 14) Dillman, Charles J., Cheetham, Phillip J., & Smith, Sarah L.(1985). A Kinematic Analysis of Men's Olympic Long Horse Vaulting. International Journal of sport Biomechanics, 1,96-110.
  - 15) Elliott, B., & Mitchell, J. (1991). A Biomechanical Comparison of the Yurchenko Vault and Two Associated Teaching Drills. International Journal of sport Biomechanics, 7, 91-107. Federation of International Gymnastics.(1997). The code of points for men. Switzerland.
  - 16) Federation of International Gymnastics.(2001). The code of points for men. Switzerland.
  - 17) Kwon, Young-Hoo., Fortney, Virginia L., & Shin, In-Sik.(1990). 3-D Analysis of Yurchenko Vaults Performed by Female Gymnasts During the 1988 Seoul Olympic Games. International Journal of sport Biomechanics, 6, 157-175.
  - 18) Kwon, Y. H.(1994). KWON3D Motion analysis package version 2.1 User's Reference Manual. Anyang, Korea:V.TEK corporation.
  - 19) Takei, Y.(1989). Techniques Used by Elite Male Gymnasts Performing a Handspring Vault at the 1987 Pan American Games. International Journal of sport Biomechanics, 5, 1-25.
  - 20) Takei, Y.(1991). A Comparison of Techniques Used in Performing Men's Compulsory Gymnastic Vault at the 1988 Olympic. International Journal of sport Biomechanics, 7, 54-75.
  - 21) Takei, Y.(1992). Blocking and Postflight Techniques of Male Gymnastic Performing the compulsory Vault at the 1988 Olympic. International Journal of sport Biomechanics, 8, 87-110.
  - 22) Takei, Y., & 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.