

棒高とびのバイオメカニクスの研究

棒高とび技術の最大湾曲時における考察

荒井康夫・靱山隆裕*・恵土孝吉**

A Biomechanical Analysis of the Pole Vault

Comparisons on Maximum Pole Bend Potential between
Successful and Unsuccessful Male Vaulters

Y. ARAI, T. MOMIYAMA and K. EDO

Abstract

There is perhaps no more complex an event in sports as the pole vault. In pole vaulting, there are several critical factors for a good vault. The athlete's Pole Rising Speed and Body Lift Speed are necessary in order to gather lift for the proper timing and balance in a successful vault.

The following are critical factors:

- (1) Running Speed and Grip Position
- (2) Take-off
- (3) Swing Up (Hang)
- (4) Rock Back
- (5) Projection Phase: Pull, Turn, Flyaway

It is necessary to include these factors for a good vault.

The purpose of this paper is two-fold: 1) To review the literature on Pole Vaulting research. 2) To recommend a method of instruction for Pole Bending based on our findings. First, in our review of the research literature on Pole Vaulting, we found L.S. Homencof's work to be of particular interest. Homencof observed that in the forward approach, the pole was carried at a 45 degree angle laterally. We propose to re-examine the validity of this observation. The following pages contain research photographs and biomechanical analysis figures to support our findings.

The subjects of our study were physical education students. The 10 subjects chosen were pole vaulters with an average training history of 7.4 years. The height of the bar for all subjects was 440cm. Analyzed three successful vaults and three unsuccessful vaults.

In our experiment method, we used a 16mm IPL Photo Sonic Ink Recording

* 中京大学体育学部研究生

** 金沢大学教育学部

Camera. We took photographs from the rear, and a side view of each vault. We photographed both angles simultaneously. The height of the Camera was 120cm and the shutter speed was set at 1/50sec. To minimize error, we used a Dynamic Frame Model DF-10B Motion Analyzer Graphpen Calculator System.

The results of our study re-iterate the validity of a lateral 45 degree angle as demonstrated in L.S. Homencof's research. Therefore, the angle of rock back was approxiamated at 30 to 45 degrees as well. In ther case of unsuccessful vaults, an angle range of 33 to 47 degrees was observed.

Recommendation: A) From this research we recommend that the vaulter be instructed to fully extend the shoulder and elbow of the upper grip arm.

Note: During this experiment we were able to photograph a pole-brake. We noticed that pole bend exceeded 45 degrees.

This was thought to be caused by a delayed rock back.

はじめに

多面的な身体づくりという意味から、学校体育でも棒高とびを採用すべきであろう。棒高とびは、身体の大部分の筋肉を使う運動種目であり、また勇気を必要とする。棒高とびを実施している西ドイツでは生徒に人気のある陸上競技種目のひとつになっている。棒高とびの練習はよほどおもしろいとみえて、子どもたちは休み時間にも、適当な棒を見つけてきて、自分たちでスタンドをこしらえ、ひとりで練習したり、友達どうしで棒高とびの競争をしたりするほどである。少年は、スリルのある運動をやったのけたい衝動をもっている。足が大地を離れ、身体がポールに支えられ、ぐんぐん高く上がっていくときの気持ち、その勇気に対する人びとの感嘆。これは少年にとってすばらしい体験であるにちがいない。完全な技術を身につけ、好記録に必要な体力をつくり上げるには長い年月がかかるので、小さい時から基礎練習を始めるようにしてほしい¹⁾

棒高とびは最も複雑な陸上競技種目のひとつであろう。テクニック習得の複雑さは、可動性の柔軟なポールを利用し、5.80 mにも達する高い跳躍を行う点にある。その際に選手は、両手にポールを握って走りながら水平方向に速度を増してゆく(9~10m/秒)²⁾助走が終るところでポールの先をボックスに突き立てて踏切り、続いてスウィング(振り込み)、振り上げ、ポールを最大限に湾曲させなければならない。さらにポールの伸び返る力を最も効果的に利用して、振り上げ、引き上げ、突き伸ばしと押し上げなどの一連の動作を通じエネルギーに身体を上方に持ち上げ、バーをクリアーする種目である。

目 的

本研究は棒高とびの最大湾曲時における成功例、失敗例での比較検討。L.S.ホメンコフの研究でポールは進行方向、左側約45度に傾き湾曲されるとの報告の再検討。この2点についてバイオメカニクスの写真分析を行った。

方 法

被験者には体育学部生、競技歴平均7.4年間の10名、他、年齢、身長、体重、ベスト記録、使

表1 被検者の年齢・身長・競技歴・(etc)

項目 氏名	年 齢	身 長 (cm)	体 重 (kg)	競技歴 (年)	ベスト記録 (m)	使用ポール (ポンド)	長 さ (フィート)	握 り (m)
M・H	19	173	65	4	4.50	150	15.0	3.95
S・N	19	167	59	8	4.60	145	15.0	4.00
Y・K	21	165	61	9	4.70	145	15.0	4.05
Y・O	21	177	67	6	4.60	155	15.7	4.15
H・S	21	169	65	6	4.80	160	14.9	4.10
T・O	22	172	62	7	4.00	145	14.0	3.75
S・I	19	181	65	8	4.80	165	15.7	4.20
I・W	21	174	67	8	4.80	160	15.0	4.07
Y・I	22	168	62	8	4.81	155	15.0	4.05
T・M	23	168	68	10	4.60	160	15.0	4.15
10名(\bar{x})	20.8	171	64.1	7.4	4.62	154	15.0	4.05

用ポール(ポンド),長さ,握りについては表1に示した.実験は3種公認陸上競技場にある棒高とび専用ピットにて実施.バーの高さ4.40m. Photosonic Inc. 16mm 1PL Recording camera を50mの距離で横と後ろに2台セット, Pulsegenerator を使用しフィルム・スピードの補正を行った. フィールド・スピード1/50秒, カメラの高上1.20mとした. 実験場面の模式図については図1に示した.

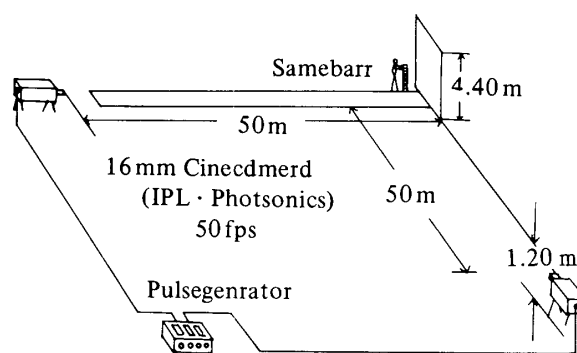


図1 実験場面の模式図

撮映したフィルムの分析は, 成功例3本, 失敗例3本を選び, Dynamic Frame model DF-10B で拡大トレースしたものを Motion Analyzer Graphpen Calculator System を用いて行った.

《最大湾曲および上から見たポールの進行方向に対する角度の算出方法》

図2参考. 進行方向に対してポールが左側に湾曲した場合, 後ろと横からの写真によって, 上から見た時の状態についてを算出した. P=最大湾曲ポイント, (ポールの先と後を結び90度の角度で最大の幅を求めた). T=ポールの先. H=ポールの後(グリップの方). C=TとPの垂線で結んだ幅(13.5)で後ろからのもの. D=TとPの垂線で結んだ幅(20.05)で横からのもの. $C/D = \arcsin \theta = 33.95$ = 進行方向に対してポール下部の左側最大角度である. E=PとHの幅(32.5)で後ろからのもの. F=PとHの幅(66.57)で横からのもの. $E/F = \arcsin \theta = 26.02$ = 進行方向に対してポール上部の左側最大角度である. それらは図3に示した. すなわち最大湾曲時における進行方向に対しては, 左側に最大33.95度(ポール下部)であり, 最小26.02度(ポール上部)である. $33.95度 - 26.02度 = 79.3度$ の範囲でポールがねじれ(たわみ)の現象を起こしているのである. 図4では, 最大湾曲時の上から見た場合のポールの状態について示したが, あくまでも上記算出方法における平均値であり曲線で示すことは難しい.

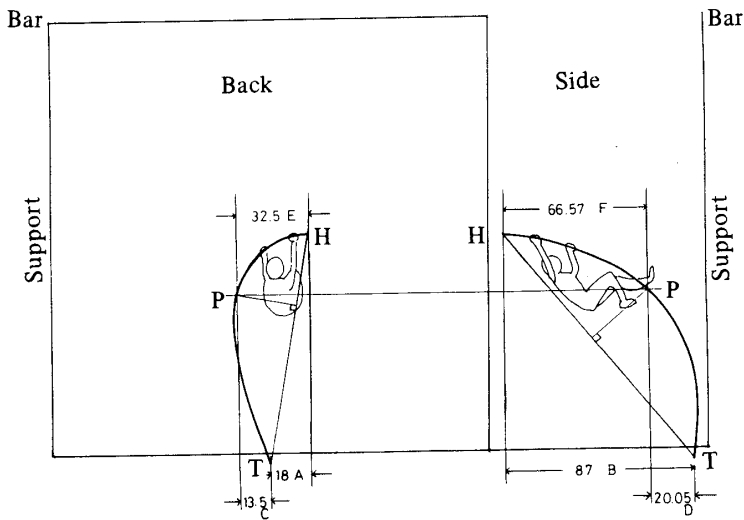


図2 成功例の Back・Side における
ボールの最大湾曲時の状態

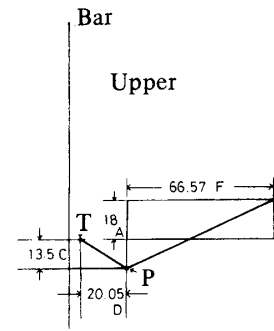


図4 成功例の最大湾曲時の
Upper における平均値
での状態

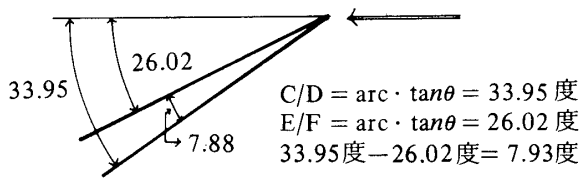


図3 最大湾曲時における
ボールの方向とねじれの角度

結 果

失敗例の最大湾曲時における Side・Back の結果を見ると、ボールの湾曲に関しては進行方向に対するボール下部の湾曲状態は 69.93 度であり、ボール上部が 24.61 度であった。この平均は 47.27 度で最大のねじれ度合は 45.32 度を示した。被験者の上腕

骨と大転子を結んだ線が地面に対して鋭角をなしている、これは身体におけるロールバックのタイミングの遅れによる、それらは図5に示した。また成功例の最大湾曲時における Side・Back の結果を見ると、ボールの湾曲に関しては、進行方向に対するボール下部の湾曲状態は 69.32 度であり、ボール上部が 19.46 度であった。この成功例での平均は 44.39 度で最大のねじれ度合は 49.86 度を示した。被験者の上腕骨と大転子を結んだ線が地面に対してほぼ水平状態であった。このことは L.S. ホメンコフの報告と同様であり、ボールの湾曲と身体のロールバックのタイミングが一致していた。またボールのヘッドとトップがほぼ垂直線上にあり、ボールのぶれの少ない事を示すものであり、効果的なジャンプに結びついている、それらは図6に示した。次に失敗例におけるボールのトップと

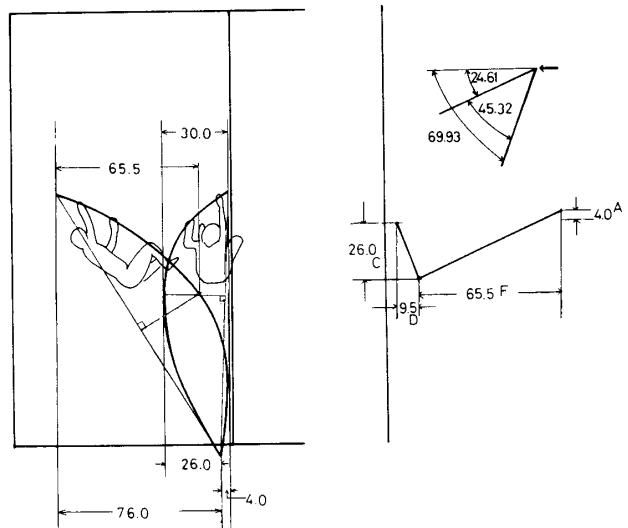


図5 失敗例の最大湾曲時における Side・Back の状態と Upper からの平均値での状態ならびに進行方向に対する角度

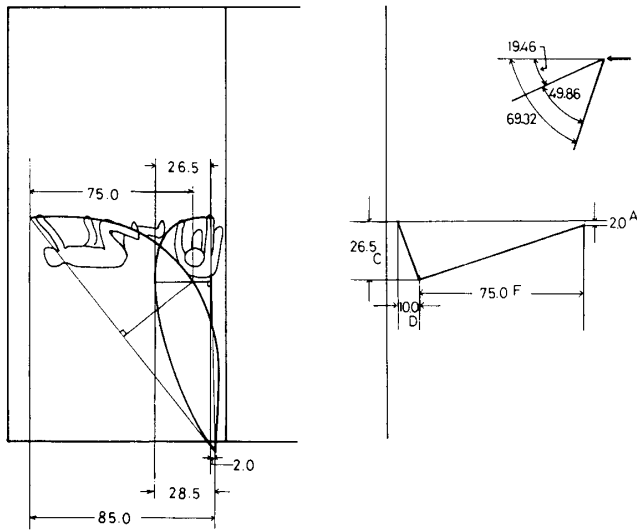


図6 成功例の最大湾曲時における Side・Back の状態と Upper からの平均値での状態ならびに進行方向に対する角度

大転子の軌跡を毎秒 1/50 でトレースしたものを図7に示した。まず大転子の軌跡をボールの突っ込み動作とポール垂直時について述べると、進行方向 12.45 に対して上方向 10.8 であった。これは大転子が 40.94 度の方向で上昇している。次に突っ込み動作時、最大湾曲時、ポール垂直時の3点間では、前半（突っ込み動作時から最大湾曲時）は進行方向 9.35 に対して上方向 3.9 であった。この上昇角度は 22.64 度である。後半（最大湾曲時からポール垂直時）は進行方向 3.10 に対して上方向 6.9 であった。この上昇角度は 65.81 度であり、前後半の平均上昇角度は 44.23 度である。

ポールのトップの軌跡をボールの突っ

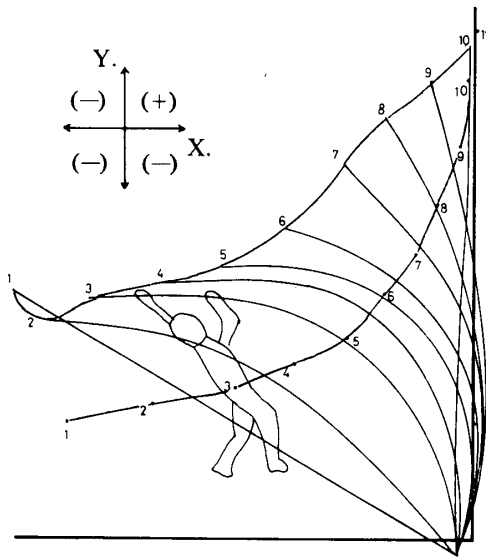


図7 失敗例におけるボールのトップと大転子の軌跡 (1/50秒)

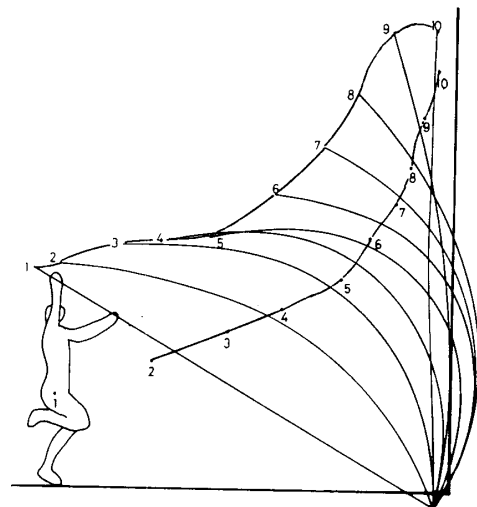


図8 成功例におけるボールのトップと大転子の軌跡 (1/50秒)

込み動作時とポール垂直時について述べると、進行方向 13.05 に対して上方向 7.80 であった。この上昇角度は 30.87 度ある。次に突っ込み動作時、最大湾曲時、ポール垂直時の3点間では前半は進行方向に 5.7 に対して上方向 2.35 であった。この上昇角度は 22.41 度である。後半は進行方向 7.35 に対して上方向 5.45 であった。この上昇角度は 35.56 度であり、前後半の平均上昇角度は 29.49 度である。図8においては、成功例におけるボールのトップと大転子の軌跡を示した。まず大転子の軌跡をボールの突っ込み動作時とポール垂直時について述べると、進行方向 13.4 に対して上方向 11.3 であった。これは大転子が 40.14 度の方向で上昇している。次に突っ込み動作時、最大湾曲時、ポール垂直時の3点間では、前半は進行方向 9.21 に対して上方向

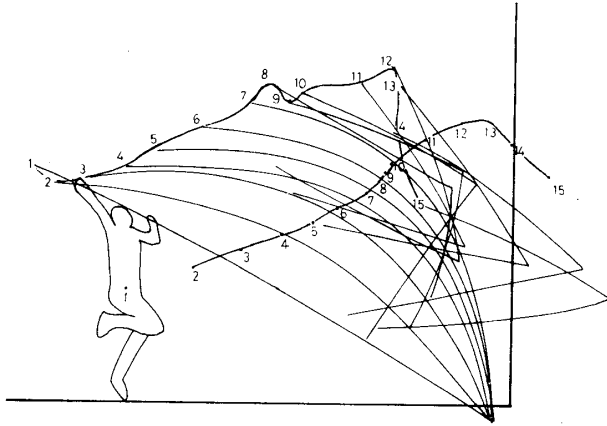


図9 ポールが折れた時のトップと大転子の軌跡(1~7 3/50秒・7~10 1/50秒・10~15 5/50秒)

向2.8であった。この上昇角度は16.93度である。後半は進行方向3.9に対して上方向8.6であった。この上昇角度は65.61度であり、前後半の平均上昇角度は41.27度である。

ポールトップの移動をボールの突っ込み動作時とポール垂直時について述べると進行方向14.95に対して上方向8.15であった。この上昇角度は28.6度である。次に突っ込み動作時、最大湾曲時、ポール垂直時の3点間では、前半は進行方向6.75に対して上方向0.75であった。この上昇角度は6.34度である。後半は進行方向8.2に対して上方向

表2 失敗例・成功例における大転子及びポールトップの

$$1/10秒間ごとの上昇角度 \left(\frac{\text{上方向}}{\text{進行方向}} \right) = \tan \theta$$

失敗例における大転子の1/10秒間ごとの上昇角度

コマ数	進行方向	上方向	大転子の 上昇角度	2コマごとの 角度増減
1~2	3.15	1.10	19.25	
2~3	2.50	1.00	21.86	↑
3~4	1.75	0.80	24.57	↑
4~5	1.95	1.00	27.15	↑
5~6	0.90	1.35	56.31	↑
6~7	0.85	1.15	53.54	↓
7~8	0.5	1.20	69.44	↑
8~9	0.45	1.70	75.17	↑
9~10	0.45	1.50	73.30	↓
			\bar{x} 46.73	

失敗例におけるポールトップの1/10秒間ごとの上昇角度

コマ数	進行方向	上方向	ポールトップの 上昇角度	2コマごとの 角度増減
1~2	0.80	0.15	10.62	
2~3	2.05	0.65	17.59	↑
3~4	1.45	0.15	5.91	↓
4~5	1.40	0.10	4.09	↓
5~6	2.15	1.50	34.90	↑
6~7	1.55	1.55	45.00	↑
7~8	1.10	1.80	58.57	↑
8~9	1.10	2.05	61.78	↑
9~10	1.45	0.05	1.90	↓
			\bar{x} 26.71	

成功例における大転子の1/10秒間ごとの上昇角度

コマ数	進行方向	上方向	大転子の 上昇角度	2コマごとの 角度増減
1~2	2.50	0.85	18.78	
2~3	2.75	0.75	15.25	↓
3~4	1.90	0.45	13.32	↓
4~5	2.05	0.75	20.10	↑
5~6	1.20	1.50	51.34	↑
6~7	1.00	1.30	52.43	↑
7~8	0.70	1.70	67.62	↑
8~9	0.75	1.90	68.46	↑
9~10	0.25	2.20	83.52	↑
			\bar{x} 43.42	

成功例におけるポールトップの1/10秒間ごとの上昇角度

コマ数	進行方向	上方向	ポールトップの 上昇角度	2コマごとの 角度増減
1~2	0.90	0.95	46.55	
2~3	1.50	0.70	25.02	↑
3~4	2.45	0.50	11.53	↓
4~5	1.90	0.50	14.74	↑
5~6	2.05	1.35	33.37	↑
6~7	2.00	2.10	46.40	↑
7~8	1.35	1.55	48.95	↑
8~9	1.50	1.20	38.66	↓
9~10	1.30	1.20	42.71	↑
			\bar{x} 34.32	

向7.4であった。この上昇角度は42.06度であり、前後半の平均上昇角度は24.2度である。

ポールが折れた時のトップと大転子の軌跡を図9で示した。1～2は24.41度の上昇角度、2～3は20.56度、3～4は22.93度、4～5は21.08度、5～6は60.64度、6～7は27.76度、7～8は45.00度(ポールはこの間で折れた)8～9は56.31度、9～10は56.31度、10～11は36.03度、11～12は24.62度、12～13は6.34度、13～14はマイナス43.26度、14～15はマイナス40.03度で大転子が移動していた。次にポールのトップの移動は1～2はマイナス42.51度の上昇角度、2～3は11.31度、3～4は18.43度、4～5は26.57度、5～6は28.89度、6～7は26.57度、7～8は42.88度(ポールはこの間で折れた)、8～9はマイナス50.19度、9～10は37.87度、10～11は10.18度、11～12は27.65度、12～13はマイナス68.96度、13～14はマイナス80.53度、14～15はマイナス65.82度であった。大転子についての上昇角度でいうならば、5～6にかけては60.64の上昇角度に対して、6～7は27.76度と著しく減少し折れる最大の要因と考える。

失敗例における大転子の $\frac{1}{10}$ 秒間ごとの上昇角度、成功例における大転子の $\frac{1}{10}$ 秒間ごとの上昇角度、失敗例におけるポールトップの $\frac{1}{10}$ 秒間ごとの上昇角度、成功例におけるポールトップの $\frac{1}{10}$ 秒間ごとの上昇角度を表2に示した。(数値についてはトレース上のmmであり $\text{arc} \cdot \tan \theta$ で角度を算出した。また1コマにおける算出方法は、被験者が前進及び上昇を示した場合のみプラスとした。他はすべてマイナスと考え前進y, 上昇x, $\tan \theta = x/y$ で算出した。)

ま と め

強い棒高とび選手、シーグレン(米)、ノルドビク(東独)、ブリズネッオフ(ソ連)、(平均跳躍記録、5 m30cm)、らのパラメーターの動力学的特性を見ると次のようになる。グリップからバーまでの高さの平均81cm、地面から右手グリップまでの高さの平均4 m 45 cm、ポールの湾曲度(弦に沿ったグリップ位置の降下)の平均86.3cm、ラスト・スライドの速度平均9.28 m/秒踏切り角度平均73度、重心の飛び出し角度平均17.5度、最大飛跡角度平均73度、ポールに「乗る」時のポール角度平均32.6度、重心の懸下終了時におけるポール弦の角度平均38-40度、最大湾曲時におけるポールの弦の角度平均56.5度、引き上げ終了時の弦の角度平均90.3度という報告がある¹⁾。このデータによれば、ジャンパーの身長、体重、四肢の長さにかかなりの違いがあり、また跳躍の技術が異なっているにもかかわらず、各選手の動力学的パラメーターは、非常に似通っていた。

今回の実験ではL.S. ホメンコフの研究にあるポールは進行方向に対して45°の方向に湾曲されるという報告についての再検討とポールの曲げの技術を指導するために行ったものである。それらを要約すると、失敗例と成功例において湾曲方向45度との相関は上記動力学的パラメーターでの総合結果でもあるようにあまりみられなかった。失敗例と成功例を比較してみると成功例においては、大転子の上昇角度が突っ込み動作時より0.4秒後から上昇しつづけており、その0.6秒後ポール垂直時において最大上昇角度である83.52度を示した。これはポールの伸展と身体の上昇タイミングが一致したためと考えられる。失敗例においては突っ込み動作時より1秒後のポール垂直時に最小上昇角度を示した。これはポールが立たなかったためである。また本研究中に偶然にもポールが折れた瞬間を撮映することができた。その原因として考えられることは、踏み込み過ぎてポールに極端に体重がかかったためにポールのもつ最大湾曲の限界を越えたことと、踏み切り動作が弱いために、踏み切り直後身体が下がったためと考えられる。指導内容としては、突っ込みのタイミングを正しくする、上体を後ろへ倒さない、体重と握り

の高さを基準に妥当なポールを選ぶなどは勿論のこと、特に最大湾曲後における上昇角度の大きい跳躍が成功に結びついているということから突っ込み動作後 0.5 秒までの感覚を身に付けるためにポール、バネ、チューブなどを用いてぶら下がりその反動で引き上げをくり返すことにより、最大湾曲時におけるロックバックからの引き上げのタイミングが身に付くと考える。

参 考 文 献

- 1) ベルナー・ウイツシュマン：陸上競技の方法, 143 ~ 150, ベースボール・マガジン社 (1970)
- 2) L.S. ホメンコフ：陸上競技トレーナー用教科書, 353 ~ 383, ベースボール・マガジン社 (1978)
- 3) Dr. Alan Neuff : POLE VAULT, 10~35, Cantabrian · cambridge (1955)
- 4) 織田幹雄：棒高跳, 陸上競技入門シリーズ 5, 22~77, ベースボール・マガジン社 (1976)
- 5) 榎木・岡野・小栗・他：全国教育系大学陸上競技研修会教本, 77~81, 日本陸上競技連盟 (1981)
- 6) ペイント・ジョーダン：アメリカ陸上競技の技術, 145 ~ 160, 講談社 (1970)