

鉄棒の後方かかえ込み 2 回宙返り下りの 離手時の力学量について

KINETIC PARAMETERS AT RELEASE OF THE DOUBLE SALTO BACKWARD TUCKED TO DISMOUNT ON THE HORIZONTAL BAR

岡 本 敦* 桜 井 伸 二*
池 上 康 男* 矢 部 京之助*

Atsushi OKAMOTO *, Shinji SAKURAI *,
Yasuo IKEGAMI *, Kyonosuke YABE *

The purpose of this study was to describe the kinetic parameters at release of the double salto backward tucked to dismount on the horizontal bar.

The subject in this study was one male university gymnast. His body weight and height was 57.0 kg and 1.67 m, respectively. He performed the double salto backward tucked to dismount after three rotations of the giant swing backward on the horizontal bar. These motions were filmed from the side with a high-speed camera of 33 frames a second. The body landmarks digitized from the films represented the endpoints of each of the segments. An eight-segment mathematical model of the body consisting of the head, trunk, upper arm, forearm, hand, thigh, shank and foot was used to obtain kinetic parameters. Velocity of the C. M., angular momentum about a transverse axis through the C. M. and mechanical energy were calculated for whole body. Mechanical power at each joint between adjacent segments was also calculated and total power was obtained by summing the power at each joint. Segment masses and center of mass were calculated from the data of Dempster (1955) and segment moments of inertia were obtained from the date of Widule (1966).

Height of the C. M. at release was 2.30 m from the landing mat. Release angle of the C. M. was 70.5 deg and then velocity of the C. M. was 5.14 m/s. Maximal height of the C. M. was 3.50 m from the landing mat in the airbone phase. Angular momentum was 44.4 kgm^2/s at release. Mechanical power was generated by the hip joint flexion and shoulder joint extension in the upswing before release. These motions increased mechanical energy and angular momentum.

1. はじめに

鉄棒の終末技は近年急速な発達を遂げている。前方や後方の 2 回宙返り下りにひねりを加えたり、3 回宙返り下りなど人間の限界と思える様な技が一流選手によって演技されている。

これらの終末技では鉄棒から離手したときの身体重心の速度と方向および身体重心まわりの角運動量によってその演技の成否が決定されていると言っても過言ではない。ところが、これまで終末

技を運動力学的観点から研究した報告は見られない。そこで本研究では、終末技の基本の一つと考えられる後方かかえ込み 2 回宙返り下りを運動力学的観点から検討し、終末技を成功させるための運動力学的要因に関する基礎的資料を得ることを目的とした。

2. 方 法

被検者は体操競技部に所属する男子体育学部生 1 名であった。被検者の身長と体重はそれぞ

*名古屋大学総合保健体育科学センター

*Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University, Nagoya, Japan

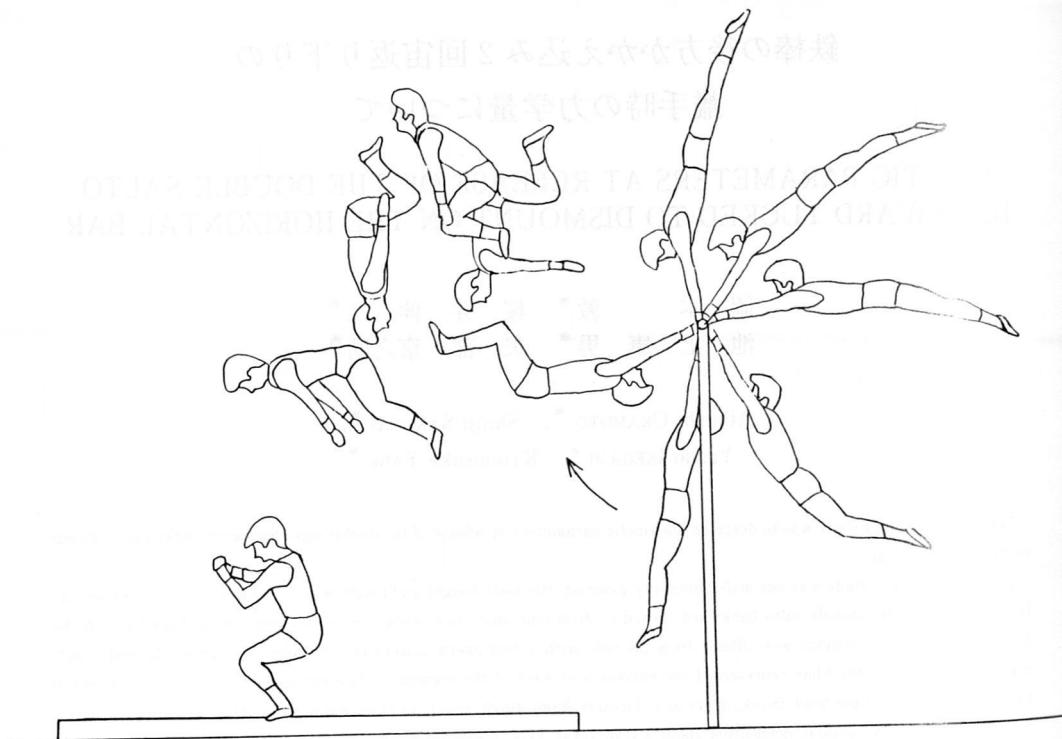


Fig. 1 Movement of the body during the double salto backward tucked to dismount on the horizontal bar.

1.62m, 57.0kg であった。被検者はけ上がりから振り上げ倒立を行い、その後、順手車輪を3回転して後方かかえ込み2回宙返り下りを実施した。その時の身体動作を側方から16mmシネカメラによって毎秒33コマで撮影した。撮影した16mmフィルムを座標解析し、得られた座標値をもとに身体重心の変位と速度、身体の持つ力学的エネルギー⁴⁾、身体重心まわりの角運動量²⁾および関節で発揮されたパワー³⁾⁶⁾⁷⁾を算出した。なお、数値微分の際に発生するノイズを除去するために、遮断周波数3.1Hzのデジタル・フィルター⁷⁾によって座標値を平滑化した。身体各体節の質量と重心位置は Dempster¹⁾の報告により、また、身体の各体節重心まわりの慣性モーメントは Widule⁵⁾の報告によって算出した。また、力学的エネルギー算出の際に身体重心の位置エネルギーは、後方かかえ込み2回宙返り下りの離手前に最も身体重心が低くなった点を基準面として計算した。

分析は振り上げ倒立て身体重心が最も高くなつた時から後方かかえ込み2回宙返り下りの離手までについて行なった。

3. 結 果

本実験の被検者の演技を図1、2に示した。図1は後方かかえ込み2回宙返り下りを最後の倒立経過時から着地まで示したものであり、図2は振り上げ倒立て3回転の順手車輪と後方かかえ込み2回宙返り下りの離手までを示したものである。図2の3回転の順手車輪では、身体の下降局面前半で身体はほぼ一直線に伸ばされており、下降局面後半で股関節が伸展された。また、身体の上昇局面前半で股関節の屈曲動作と肩関節の伸展動作が行なわれた。この身体動作は体操競技では「あふり」と呼ばれている。

図3に身体重心の速度の経時的变化を示した。順手車輪3回転の間のピーク値は5.38m/s, 5.56m/s

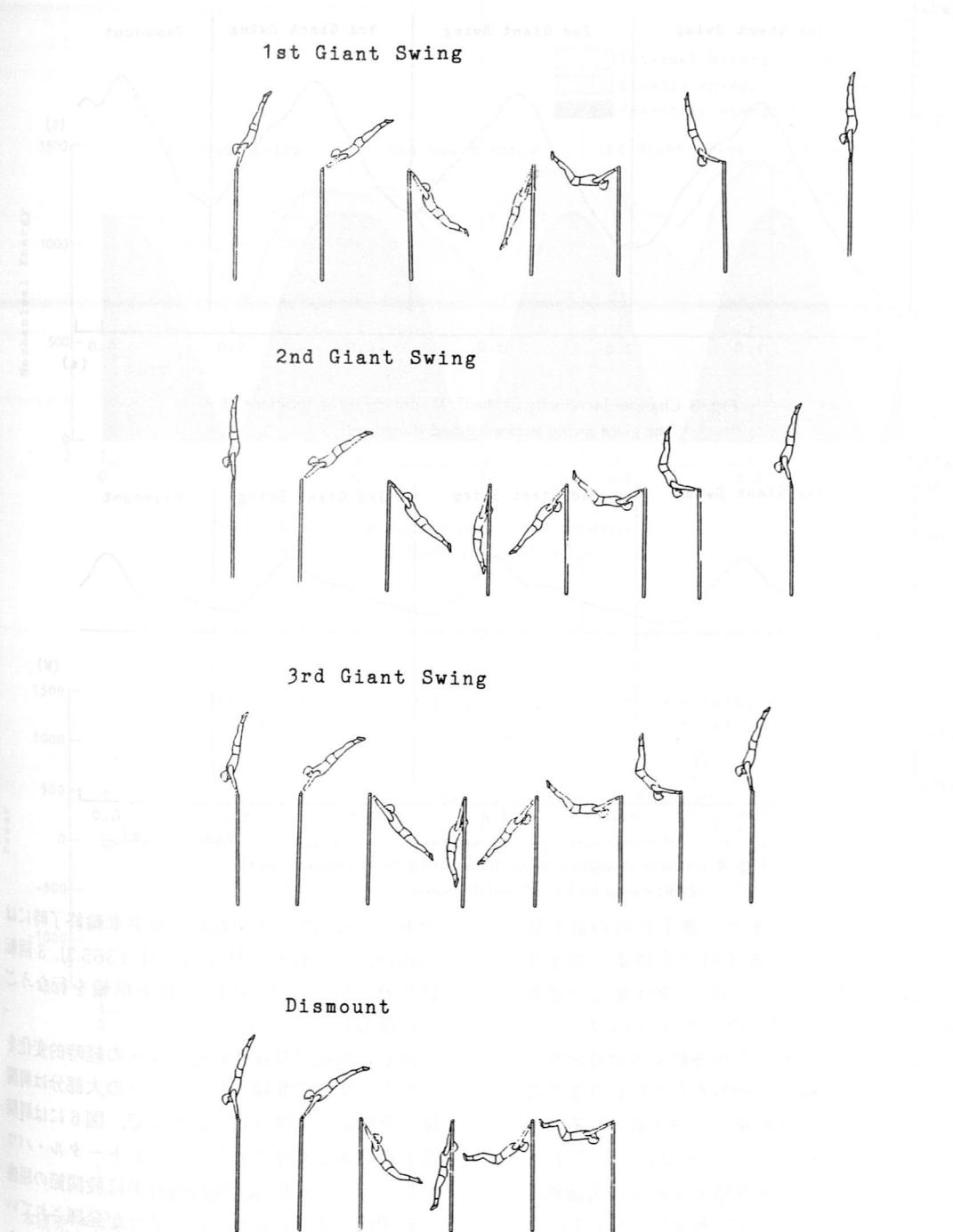


Fig. 2 Movement of the body during three rotations of the giant swing backward and dismount.

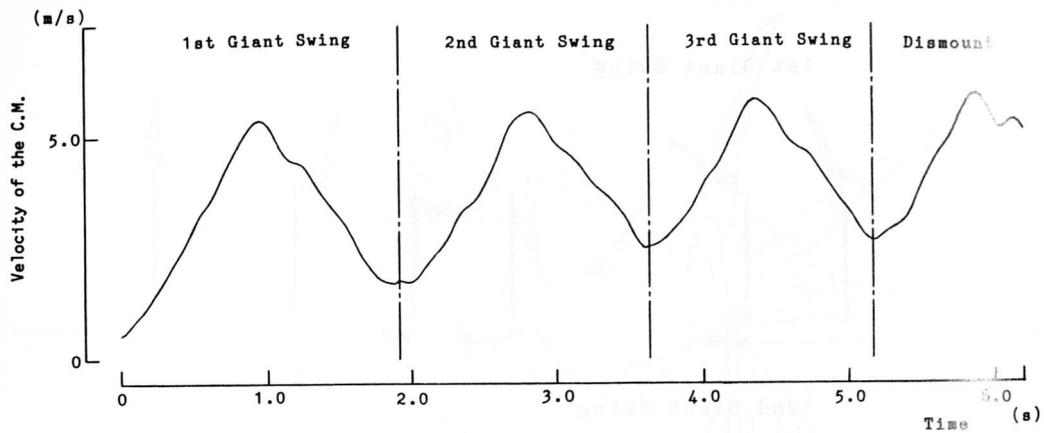


Fig. 3 Changes in velocity of the C. M. during three rotations of the giant swing backward and dismount.

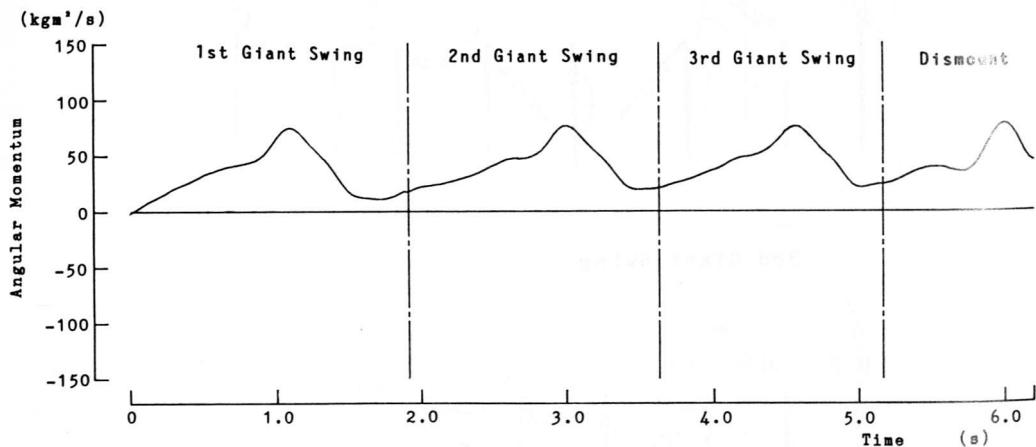


Fig. 4 Changes in angular momentum during three rotations of the giant swing backward and dismount.

5.84m/sと増加した。また、離手直前の最大値は5.95m/sであった。離手時の身体重心の速度は5.14m/sであった。この時の身体重心の運動方向は水平方向から上方へ70.5度の方向であった。

図4に身体重心まわりの角運動量の経時的变化を示した。順手車輪1回転目から3回転目までの身体重心まわりの角運動量のピーク値は、それぞれ75.0kgm²/s, 76.3kgm²/s, 76.0kgm²/sであった。また、離手直前の身体重心まわりの角運動量のピーク値は78.2kgm²/sであった。そして、その後減少して離手時には44.4kgm²/sであった。

図5に力学的エネルギーの経時的变化を示した。振り上げ倒立の時の全力学的エネルギーは1145.2J

であったものが、1回転目の順手車輪終了時には1265.6J, 2回転目の終了時には1365.3J, 3回転目の終了時には1405.5Jと順手車輪を行なうごとに増加した。

図6に関節で発揮されたパワーの経時的变化を示した。関節で発揮されたパワーの大部分は肩関節と股関節で発揮されたいたので、図6には肩関節と股関節で発揮されたパワーとトータル・パワーを示した。身体の上昇局面前半に股関節の屈曲と肩関節の伸展による正のパワーが発揮されていた。関節で発揮されたパワーの総和であるトータル・パワーのピーク値は1回転目から順に、845.6W, 849.4W, 932.2W, 911.5Wであった。

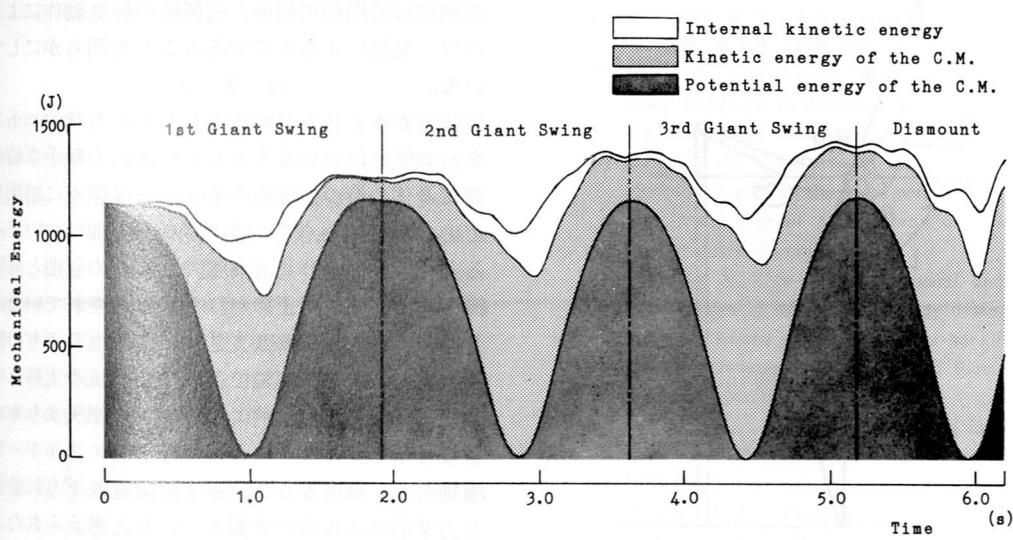


Fig. 5 Changes in mechanical energy three rotations of the giant swing backward and dismount.

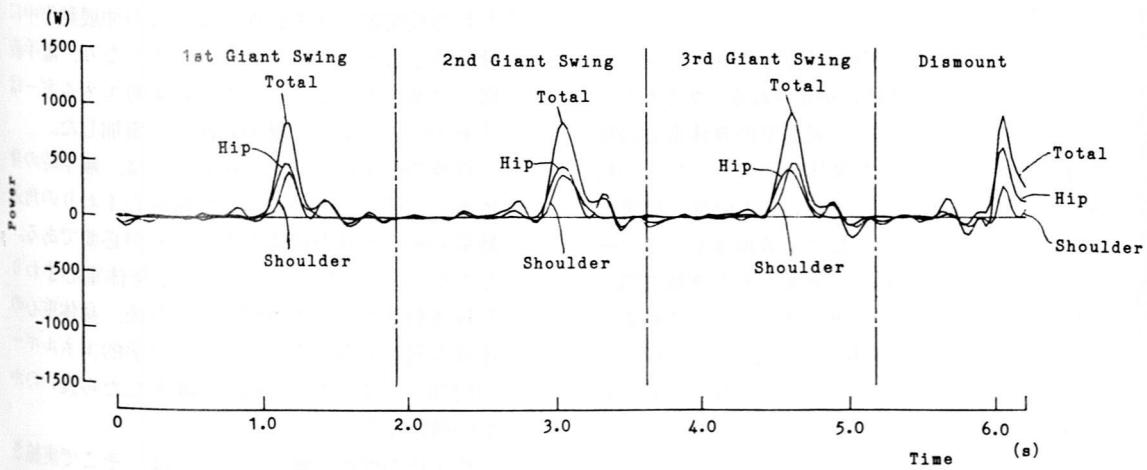


Fig. 6 Changes in mechanical power during three rotations of the giant swing backward and dismount.

4. 考 察

本研究で分析の対象とした後方かえ込み2回宙返り下りは図1のように姿勢欠点も少なく、着地の先取りも十分にできていた。したがって、この被検者は、後方かえ込み2回宙返り下りに十分

分熟練しており、本研究の結果は後方かえ込み2回宙返りの代表例と言えるものであった。

鉄棒の終末技を成功させる為の運動力学的要因として、離手時の身体重心の高さ、速度およびその運動方向と身体重心まわりの角運動量が挙げら

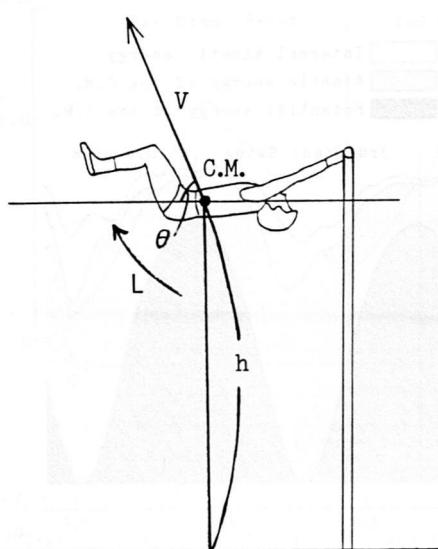


Fig. 7 Kinetic parameters at release of the double salto backward tucked to dismount (V: velocity of the C. M., θ : release angle of the C. M., h: height of the C. M., and L: angular momentum of the whole body about a transverse axis through the C. M.).

れる(図7)。これらの運動力学的要因によって、空中局面での身体の運動は決定される。すなわち、この初期条件によって空中局面での身体重心の軌跡は決定され、空中での身体動作によってこの軌跡を変化させることはできない。本研究の結果では、離手時の身体重心の高さは着地面から2.30mであった。また身体重心の速度とその運動方向はそれぞれ、5.14m/s, 70.5度であった。その結果、身体重心は離手後の空中局面で1.20m上昇し、この高さは着地面から3.50m、バーの上方0.95mに相当した。

鉄棒の順手車輪は、その力学モデルとして振り子に例えられることが多い。このモデルでは倒立時に身体の持つ位置エネルギーが運動エネルギーに変換され、そして再び運動エネルギーが位置エネルギーに変換されて元の倒立に戻ると考えられている。実際の順手車輪中に身体の持つ力学的エネルギーの変動は筆者ら⁴⁾が身体の下降局面で空気抵抗や支持点の摩擦抵抗で減少し、上昇局面の前半でほぼもとの値にもどることを明らかにして

いる。さらに筆者ら³⁾は、この力学的エネルギーの増加は股関節の屈曲と肩関節の伸展動作によるパワー発揮によるものであることを明らかにしている。

後方かかえ込み2回宙返り下りの力学的エネルギーの変化についてみると、3回転の順手車輪の間に身体の持つ力学的エネルギーは徐々に増加していった。また、この時のパワー発揮についてみると、身体の上昇局面前半で股関節の屈曲と肩関節の伸展によって正のパワーが発揮されていた。したがって、後方かかえ込み2回宙返り下りの前に行なわれる順手車輪では、空気抵抗や支持点の摩擦抵抗による力学的エネルギーの損失よりも大きな仕事をすることによって力学的エネルギーを増加して、後方かかえ込み2回宙返り下りに必要な力学的エネルギーを蓄えていると考えられた。

後方かかえ込み2回宙返り下りのように、離手後の空中局面で多回転の宙返りを伴う終末技では、離手時の身体重心まわりの角運動量が大きいことが必要である。本研究の結果では「あふり」といわれる股関節の屈曲動作と肩関節の伸展動作中に身体重心まわりの角運動量が大きくなり、離手直前には減少を示した。一方、力学的エネルギーは「あふり」によって離手直前まで増加した。

鉄棒の終末技を成功させる為には、離手時の身体重心の速度とその方向と身体重心まわりの角運動量の組合せが適切であることが必要である。したがって、「あふり」によって身体重心まわりの角運動量のピーク値が出現した後、身体重心の運動方向が上方へ変化しながら力学的エネルギーが増加してゆく際に、何時、離手したら良いのかが問題になる。

終末技の何処で離手するのかは、そこで実施される演技によって異なると考えられる。すなわち、終末技の種類によって身体重心まわりの角運動量の大きさが必要であったり、身体重心まわりの角運動量よりも身体重心の上昇が重視されたりと様々なバリエーションがあると考えられる。

今後、終末技の種類によってこれらの運動力学的要因がどのように変化するのか、検討が必要である。さらにシミュレーションなどの手法を使う

ことによって、実際の選手の演技の矯正も行なえるようになるであろう。

5. 要 約

鉄棒の後方かかえ込み2回宙返り下りを16mm映画分析法によって運動力学的観点から検討を加えた結果、以下のことが明らかになった。

- ①離手時の身体重心の高さは着地面から2.30mであった。この時の身体重心の速度は5.14m/sであり、その運動方向は水平方向から上方へ70.5度であった。離手後の空中局面での身体重心の高さの最大値は着地面から3.50mであった。
- ②離手時の身体重心回りの角運動量は $44.4\text{kgm}^2/\text{s}$ であった。
- ③離手直前の股関節の屈曲動作と肩関節の伸展動作によって正のパワーが発揮されていた。また、これらの身体動作によって身体の持つ力学的エネルギーと身体重心まわりの角運動量は増加した。

文 献

- 1) Dempster, W. T. : Space requirements of the seated operator. WADC Tech. Rep., 1955.
- 2) Hay, J. G., B. D. Wilson, and J. Dapena : A computational technique to determin the angular momentum of human body. J. Biomechanics, 10, 262-277, 1977.
- 3) Okamoto, A., S. Sakurai, Y. Ikegami, and K. Yabe. : Mechanical work in the giant swing on the horizontal bar. Proceedings of XIth International Congress of Biomechanics. (in printing)
- 4) Okamoto, A., S. Sakurai, Y. Ikegami, and K. yabe : The changes in mechanical energy during the giant swing backward on the horizontal bar. Proceedings of Vth International Symposium of Biomechanics in Sports. (in printing)
- 5) Widule, C. J. : Segmental moment of inertia scaling procedures. Res. Qurt. Exercise Sport, 47, 143-147, 1966.
- 6) Winter, D. A. : Moments of force and mechanical power in jogging. J. Biomechanics, 16, 91-97, 1983.
- 7) Winter, D. A. : Biomechanics of human movement, 25-107, 1979, John Wiley & Sons.

(昭和63年2月5日受付)

