

段違い平行棒における順手車輪の運動力学的特徴

KINETICS OF GIANT CIRCLE BACKWARD TO HANDSTAND ON UNEVEN BARS

岡本 敦 桜井 伸二 池上 康男 矢部 京之助

Atushi OKAMOTO, Shinji SAKURAI, Yasuo IKEGAMI, Kyonosuke YABE

The purpose of this study was to present basic data of giant circle backward to handstand on uneven bars by means of kinetics and kinematics.

Three female junior gymnasts volunteered as subjects. Their body weight and height was 30.0 ± 2.68 kg (mean \pm SD) and 1.37 ± 0.06 m (mean \pm SD), respectively. Motions were filmed from the side with a high-speed camera of 50 frames a second. Reaction force of the high bar was measured by strain gauges. Prior to filming, the bar was calibrated by force application. During the performances, the voltage output representing the force subjected to computer analysis. They were normalized by dividing force by body weight. Films were digitized and hip and shoulder joint angles were calculated. Center of mass was calculated from the data of Matsui (1958).

Reaction force of the high bar had 2 peaks. First Peak force was the maximum value. After the gymnast passed the low bar, the upswing was initiated by lifting the legs upward from the hip. Then first peak force was appered. The value of the first peak force was 5.12 ± 0.19 kgw/kg (mean \pm SD). This force accelerated the body to the upward. The gymnast arched after the piked. Then second peak force was appered. The value of the second peak force was 3.24 ± 0.26 kgw/kg (mean \pm SD). This second peak force accelerated the body above the high bar.

These results suggest that the pike and arch on the upswing are necessary to success the giant circle backward to handstand on uneven bars. This normalized force may be useful in correction of errors in execution of the swing for biofeed-back training.

1 はじめに

順手車輪は鉄棒などのバーを順手で握り、倒立姿勢から腹部の方向へ回転して再び倒立になる回転運動である。このとき鉄棒のバーが回転の中心軸になっている。そして、順手車輪はその運動形態から単振り子や実体振り子に例えられることが多い¹⁾²⁾。

段違い平行棒では従来、低棒が邪魔になるので順手車輪を行なうことは不可能だと考えられていた。しかし、1977年ソビエトのシャポシュニコワ選手によって段違い平行棒で順手車輪が初めて演技された。このシャポシュニコワ選手の順手車輪は、その独特の演技形態とあまって体操関係者

にとって非常に衝撃的であった。そして翌年から、この段違い平行棒における順手車輪は急速に普及し流行技となった¹²⁾。

FIG（国際体操連盟）の1985年度版採点規則⁵⁾では高棒における順手車輪はC難度、低棒での実施はB難度とされている。現在、我が国でも多くのジュニア選手が自由演技に取り入れており、段違い平行棒の自由演技の重要な構成要素の一つになっている。しかし、これまで段違い平行棒における順手車輪の研究報告はほとんどみられない。

そこで本研究では段違い平行棒の高棒における順手車輪を運動学および運動力学的観点から検討し、その特徴を明らかにすることを目的とした。

Table 1 Physical characteristics of subjects

Subj.	Age (yrs)	Height (m)	Weight (kg)
Ohz	12	1.44	33.5
San	11	1.36	29.5
Kob	12	1.30	27.0
Mean (S. D.)		1.37 (0.06)	30.0 (2.6)

2 方 法

被検者は民間体操クラブに所属する女子ジュニア選手3名であった。被検者の年齢・身長・体重を表1に示した。いずれの被検者も段違い平行棒の高棒における順手車輪を習熟した選手であった。

被検者は高棒で順手車輪を2回転連続して実施した。その時の身体動作を側方から16mmシネカメラ(Photo Sonics 16-1PL)によって毎秒50コマで撮影した。順手車輪中に高棒にかかる力はバーの固定端から40cmの位置に貼付したストレインゲージによって測定した³⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹¹⁾。ストレインゲージは水平・垂直方向にそれぞれ2枚ずつ貼付し、順手車輪中に高棒にかかる力を水平方向と垂直方向にそれぞれ独立して検出できるようにした。

分析は回転の安定した2回転目について行なった。

撮影した16mmフィルムを座標解析し、肩関節と股関節の関節角度の経時的变化、身体重心の軌跡を求めた。なお身体重心の位置座標は松井の重心係数¹⁰⁾によって算出した。

高棒にかかる力の合力は水平方向の力と垂直方向の力を合成して求めた。

測定した高棒にかかる力をそれぞれ、被検者の体重で除し、体重当たりの高棒にかかる力を求めた。また、それぞれの被検者が順手車輪1回転に要した時間を100パーセントとして各相対時間における体重当たりの高棒にかかる力の平均値と標準偏差を算出した。

3 結 果

段違い平行棒の高棒における順手車輪の1回転

に要した時間は平均2.24秒であった。本研究に参加した被検者の代表例として、被検者 Ohz の結果を以下に示した。

図1に段違い平行棒の高棒における順手車輪の演技例を示した。

図2に順手車輪中に高棒にかかる力の経時的变化を示した。

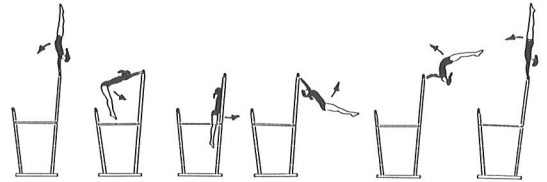


Fig. 1 Illustration of the giant circle backward to handstand on uneven bars (Subj. Ohz)

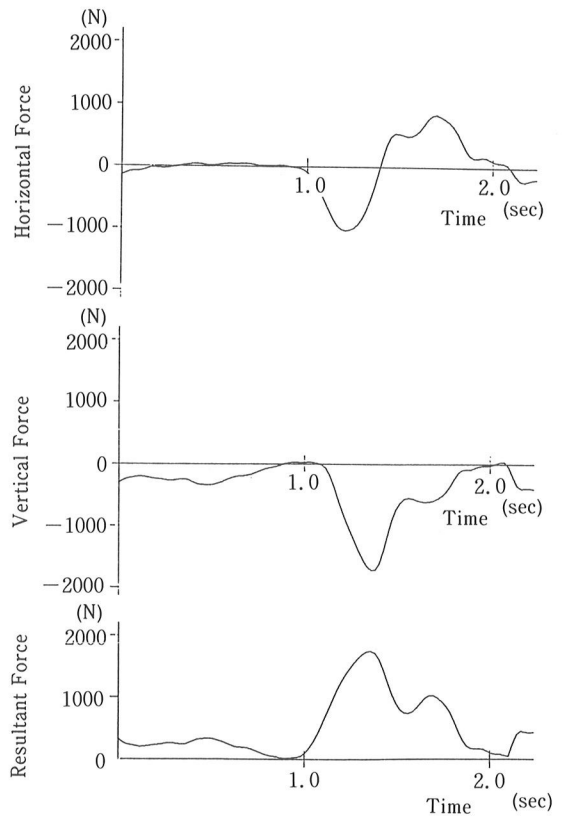


Fig. 2 Changes in reaction force of the high bar during the giant circle backward to handstand on uneven bars (Subj. Ohz)

高棒にかかる力には2つのピークが観察された。第1のピークは最大値1737Nであった。これは被検者の体重の5.29倍に相当した。そして、高棒にかかる力はいったん減少した後、再び増加して第2のピークが出現した。その値は1032Nで被検者の体重の3.14倍であった。

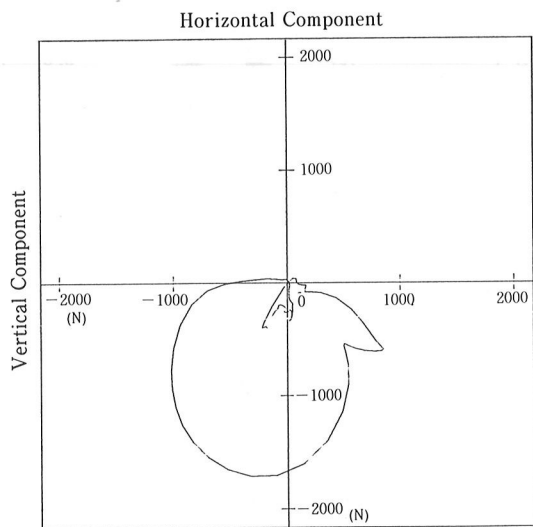


Fig. 3 Polar curve of reaction force of the high bar in the giant circle backward to handstand on uneven bars (Subj. Ohz)

図3に高棒にかかる力のポーラーカーブを示した。高棒にかかる力の第1のピークは第3象限に出現し、第2のピークは第4象限に出現した。

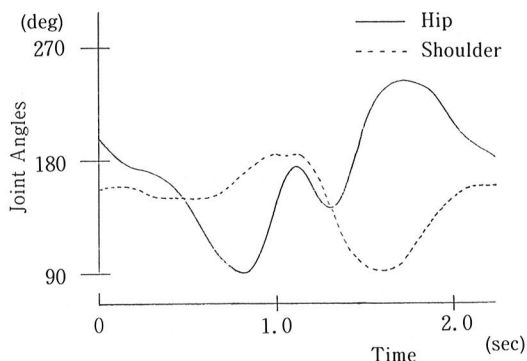


Fig. 4 Changes in shoulder and hip joint angles during the giant circle backward to handstand on uneven bars (Subj. Ohz)

図4に肩関節と股関節の関節角度の経時的変化を示した。

股関節は低棒をよけるためにほぼ90度まで屈曲した後、ただちに伸展した。その後、体操競技で「あふり」といわれる股関節の屈曲動作が観察された。「あふり」の後、股関節は180度以上にまで伸展した。

肩関節は股関節の「あふり」動作にやや遅れて伸展した。この時の肩関節の関節角度の変化は股関節よりも大きく、関節角度はほぼ90度を示した。

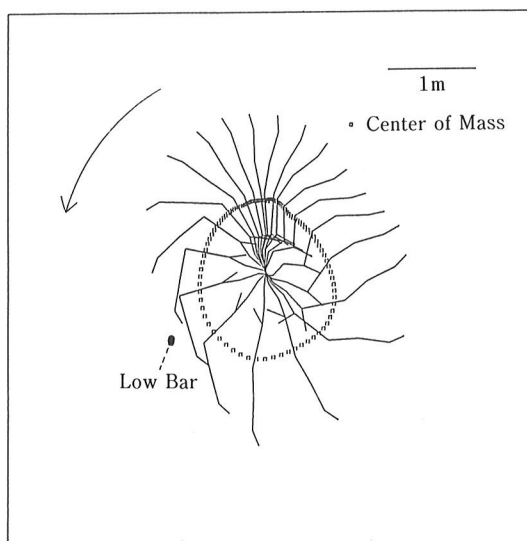


Fig. 5 Locus of the center of mass and stick pictures every 100msec in the giant circle backward to handstand on uneven bars (Subj. Ohz)

図5に身体重心の軌跡と5コマごとのスティック・ピクチャーを示した。

身体重心の軌跡は縦長の楕円形であった。低棒を通過して股関節を伸展した時に身体重心は前下方に運動していた。その後「あふり」といわれる股関節の屈曲動作によって身体重心の運動方向は前上方へと変化した。さらに、肩関節と股関節の伸展動作によって身体重心の運動方向は高棒の斜め上方へ変化した。

標準化した高棒にかかる力の経時的変化を図6に示した。

各相対時間における標準偏差は小さかった。高棒にかかる力の合力の最大値は $5.12 \pm 0.19 \text{kgw/kg}$ (平均値 \pm 標準偏差) であった。また、最大値出現後のピーク値は $3.24 \pm 0.26 \text{kgw/kg}$ (平均値 \pm 標準偏差) であった。

図7に標準化した高棒にかかる力のポーラーカーブを示した。

高棒にかかる力の第1のピーク(最大値)は第3象限に出現した。また、第2のピークは第4象限に出現した。

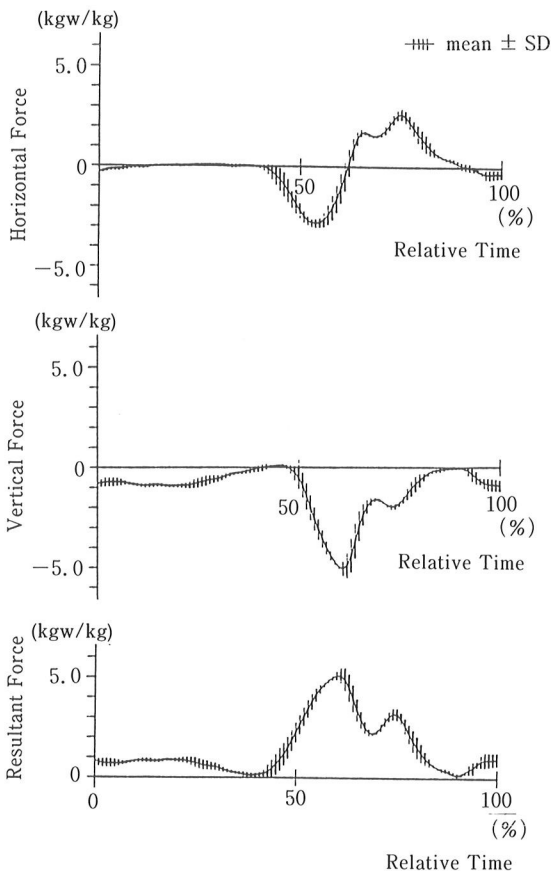


Fig. 6 Changes in normalized reaction force of the high bar during the giant circle backward to handstand on uneven bars

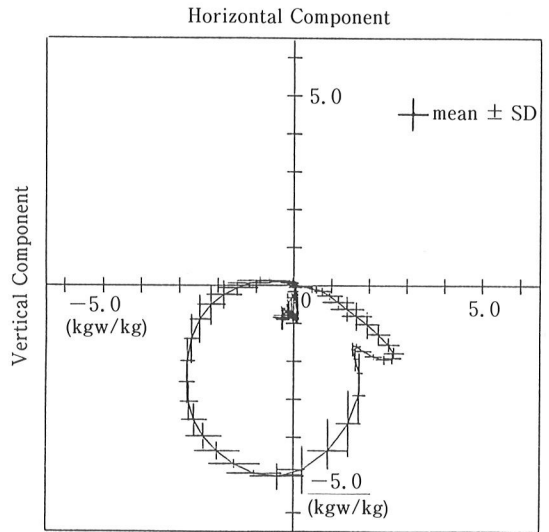


Fig. 7 Polar curve of normalized reaction force of the high bar in the giant circle backward to handstand on uneven bars

4 論 議

段違い平行棒における順手車輪には、低棒をよける際に開脚する方法と閉脚のまま低棒をよける方法がある。本研究に参加した被検者は3名とも閉脚のまま低棒をよける動作を行なった。

順手車輪中に身体は高棒にかかった力の反作用を受ける。したがって、高棒にかかった力のベクトルと反対向きの力が身体に作用することになる。本研究で得られた高棒にかかる力では、第1のピークは身体を上方へ加速する作用を持ち、第2のピークは身体を高棒の斜め上方へ加速する作用を持つと考えられる。

そこで、これらの力が身体に与えた影響を身体重心の軌跡から検討した。

重力の作用によって下方へ加速された身体重心は、高棒にかかる力の第1のピークによって、その運動方向を前下方から前上方へ変えた。そして、高棒にかかる力の第2のピークによって身体重心の運動方向は前上方からバーの斜め上方へ変化した。

次に、これらの高棒にかかる力の2つのピークと身体動作との関係を、肩関節と股関節の関節角

度から検討した。

第1のピークが出現した時の身体動作は、「あふり」といわれる股関節の屈曲動作であった。その後、股関節が伸展すると高棒にかかる力は一旦、減少した。そして、股関節が180度以上に伸展しながら肩関節が伸展する時に、第2のピークが出現した。

したがって、順手車輪中の身体動作と高棒にかかる力、そして身体重心の軌跡には、次の関係があることが明らかとなった。

股関節を屈曲することによって低棒をよけ、低棒通過後ただちに股関節を伸展する。その時の身体重心の運動方向は前下方である。「あふり」といわれる股関節の屈曲動作によって高棒にかかる力に第1のピーク（最大値）が現われ、この反作用を身体が受けることによって身体重心は、その運動方向を前下方から前上方へ変える。その後、股関節が伸展され始めると高棒にかかる力は一旦、減少する。そして、股関節が180度を超えてさらに伸展されながら肩関節が伸展されると、高棒にかかる力に第2のピークが現われる。この高棒にかかる力の第2のピークによって、前上方へ運動していた身体重心は最終的な運動方向であるバーの斜め上方へ運動方向を変える。

標準化した高棒にかかる力には2つのピークが観察された。第1のピークは高棒にかかる力の最大値であった。その値は $5.12 \pm 0.19 \text{kgw/kg}$ であった。

これまで鉄棒の順手車輪中にバーにかかる力の最大値を岡本¹¹⁾は 4.08kgw/kg 、Koppら⁹⁾は平均 3.57kgw/kg 、山下ら¹³⁾は $2.9 \sim 3.4 \text{kgw/kg}$ 、石田ら⁶⁾は $3.5 \sim 4.5 \text{kgw/kg}$ と報告している。また、石井ら⁸⁾は、垂直方向のバーにかかる力の最大値を $3.5 \sim 4.9 \text{kgw/kg}$ と報告した。

段違い平行棒における順手車輪の高棒にかかる力の最大値は鉄棒のそれと比較して大きかった。その理由は、段違い平行棒の順手車輪の遠心力が鉄棒のそれより大きくなったためだと考えられる。鉄棒では身体重心の軌跡は、ほぼ正円を示す¹¹⁾のに対して、段違い平行棒では身体重心の軌跡が縦長の楕円形になる。そのため、身体重心が最下

点に達したときの曲率半径が小さくなり、段違い平行棒の順手車輪の遠心力が鉄棒と比較して大きくなると考えられる。

また、段違い平行棒の順手車輪で観察された高棒にかかる力の第2のピークは、鉄棒では報告されていない。鉄棒では「あふり」といわれる股関節の屈曲動作によって順手車輪が継続されるのに対して、段違い平行棒では「あふり」後に、股関節を180度以上にまで伸展しながら肩関節を伸展する独特の身体動作が観察される。段違い平行棒における順手車輪では、身体の下降局面で低棒によって身体動作が制限され、「あふり」動作だけでは順手車輪を継続できないので、段違い平行棒特有の肩関節と股関節の伸展動作によって順手車輪を継続していると考えられる。

標準化された高棒にかかる力の標準偏差は小さく、3名の被検者の順手車輪中に高棒にかかる力は類似していた。このことは、順手車輪中に3名の被検者が発揮した力の大きさと方向が類似していたことを示すと考えられる。したがって、本研究で得られた標準化された高棒にかかる力は、段違い平行棒で熟練者が順手車輪を行なった時の標準的な変化を示すと考えられる。

今後、初心者が段違い平行棒で順手車輪を練習する際に高棒にかかる力を測定し、その力の変化と本研究で得られた標準値と比較しながら練習することは、バイオフィードバック・トレーニングとして運動技術の習得に有効だと考えられる。

5 ま と め

段違い平行棒における順手車輪を運動学および運動力学的観点から検討した結果、次のことが明らかとなった。

- ① 高棒にかかる力には2つのピークが観察された。第1のピークは最大値 ($5.12 \pm 0.19 \text{kgw/kg}$ 平均値 \pm 標準偏差) であった。この値は鉄棒のそれよりも大きかった。また、第2のピーク ($3.24 \pm 0.26 \text{kgw/kg}$ 平均値 \pm 標準偏差) は鉄棒では報告されていない。
- ② 高棒にかかる力の第1ピークは、「あふり」といわれる股関節の屈曲動作が行なわれた時に出現

した。この力は身体をバーの斜め上方へ加速する作用を持つ力であった。

③ 高棒にかかる力の第2ピークは、股関節を180度以上に伸展しながら肩関節を伸展した時に出現した。この力は身体をバーの斜め上方へ加速する作用を持つ力であった。

以上の結果より、段違い平行棒の高棒における順手車輪では、「あふり」といわれる股関節の屈曲動作と「あふり」後に股関節を180度以上に伸展しながら肩関節を伸展する身体動作が重要であることが示唆された。

文 献

- 1) 福田邦三, 松井秀治, 本間茂雄: 大車輪の運動学的研究(1), 体育学研究, 5: 327-334, 1953.
- 2) 福田邦三, 松井秀治, 本間茂雄: 大車輪の運動学的研究(2), 体育学研究, 9: 539-542, 1955.
- 3) 古谷嘉邦: 平行棒のバーに加わる力の測定, Jap. J. Sports Sci., 3: 132-137, 1984.
- 4) Hay, J. G., C. A. Putman, and B. D. Wilson: Force exerted during exercises on the uneven bars. Med. Sci. Sports, 11: 123-130, 1979.
- 5) International Federation of Gymnastics: Code of Points. FIG, 1985.
- 6) 石田俊丸ほか: 鉄棒運動の分析的研究, 第1報, 体育学研究, 10: 180, 1965.
- 7) 石井喜八, 小松敏彦: 鉄棒のバーにかかる力を測る, Jap. J. Sports Sci., 3: 147-152, 1984.
- 8) 石井喜八, 小松敏彦, 阿部和雄: 鉄棒運動の巧・拙比較, Jap. J. Sports Sci., 4: 258-265, 1985.
- 9) Kopp, P. M. and J. G. Reid: A force and torque analysis of giant swings on the horizontal bar. Can. J. Appl. Spt. Sci., 5: 98-102, 1980.
- 10) 松井秀治: 運動と身体の重心, 体育の科学社, 1958.
- 11) 岡本 敦: 回転運動における動作と力学量の関係, 昭和59年度中京大学大学院体育学研究科修士論文, 1984.
- 12) Sands, B., and M. Coklin: Everybody's gymnastics book, Charles Scribner's Sons, New York, 1984, pp. 99-104.
- 13) 山下謙智: 体操競技研究, 京都大学体操競技研究会編, タイムス, 1984, pp. 163-184.

(昭和62年1月21日受付)