

博士（人間科学）学位論文

体操競技における身体動作の
バイオメカニクスの分析

Biomechanical Analysis of Body Motion
in Artistic Gymnastics

2007年7月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

土 屋 純
Tsuchiya, Jun

目 次

第 1 章 緒言.....	- 1 -
第 1 節 序.....	- 1 -
第 2 節 体操競技の特性と技術トレーニング.....	- 4 -
第 3 節 体操競技に関する自然科学的研究概観.....	- 8 -
第 4 節 本研究の目的.....	- 16 -
第 2 章 鉄棒におけるけ上がりのバイオメカニクス.....	- 17 -
第 1 節 鉄棒における「け上がり」.....	- 17 -
第 2 節 鉄棒におけるけ上がりの運動技術に関する研究.....	- 18 -
第 3 章 ゆかにおける後転とびのバイオメカニクス.....	- 26 -
第 1 節 ゆかにおける「後転とび」.....	- 26 -
第 2 節 後転とびのバイオメカニクス.....	- 28 -
第 3 節 異なる運動形態をもつ後転とびの比較分析.....	- 37 -
第 4 節 新しい運動形態をもつ後転とびの踏切技術.....	- 43 -
第 4 章 段違い平行棒における後方車輪のバイオメカニクス.....	- 49 -
第 1 節 段違い平行棒における後方車輪.....	- 49 -
第 2 節 段違い平行棒における後方車輪の成否と関節で発揮されるパワー.....	- 51 -
第 3 節 段違い平行棒における後方車輪の回転速度と関節でなされる力学的仕事との関係.....	- 57 -
第 5 章 平行棒における後方車輪系技のバイオメカニクス.....	- 62 -
第 1 節 平行棒における後方車輪とその発展技.....	- 62 -
第 2 節 鉄棒と平行棒の後方車輪の力学的比較.....	- 65 -
第 3 節 後方車輪と「後方車輪から後方かかえ込み 2 回宙返り腕支持 (ベール)」の力学的比較.....	- 78 -
第 4 節 「後方車輪からかかえ込み 2 回宙返り腕支持 (ベール)」のパフォーマンスに影響を与える力学的要因.....	- 89 -
第 5 節 「後方車輪から後方かかえ込み 2 回宙返り腕支持」と「後方車輪から後方屈身 2 回宙返り腕支持」の力学的比較.....	- 98 -
第 6 章 総合考察.....	- 105 -
第 7 章 要約.....	- 114 -
文献.....	- 116 -
謝辞.....	- 122 -
資料.....	- 123 -

第1章 緒言

第1節 序

スポーツ運動学において、「技術」とは、「ある特定の運動についてその運動課題を解決する方法」（マイネル, 1981、佐藤,1990）と定義づけられている。技術には、合目的性、経済性は当然のこととして、転移可能性、時間的限定性といった特性があげられている（マイネル, 1981、佐藤,1990）。また、技術がどの程度実現できるかという能力のことを「技能」と呼んでいる（長澤,1990）。

あらゆるスポーツ種目において、様々な身体能力の向上を目的としたトレーニングが行われる。あるスポーツにとってどのようなトレーニングが必要であるかを論ずる際には、そのスポーツがどのような特性をもっているのか、いいかえれば何が競われるのかが明確にされることがなによりも必要となる。競われることが明確にされたうえで、競われることにおいて他の競技者よりも優位に立つことを目的としたトレーニングが選択され、実施されるからである。すべてのスポーツ種目においてこの「競われること」は技術的要素と体力的要素とに分けて考えられることが多く、技術の習得を目的としたトレーニングは技術トレーニングといわれ、一方で様々な身体資質の獲得が目的とされるトレーニングは体力トレーニングと呼ばれる。

多くの場合体力トレーニングは、技術の習得あるいは習熟に必要な不可欠な筋力や柔軟性といった体力的要素を高めるために行われるが、技術トレーニングを無視した体力トレーニングを行うことは有効ではないとされている（福永,1994、金子,1968）。したがって、体力トレーニングを行う場合でも、どういった技術を習得するためにどのような体力的要素の獲得がどの程度必要なかが明らかにされていなければならない。

ところで、体操競技においては、各々の種目において、様々な「技」が定義されている。たとえば、2006年版採点規則（財）日本体操協会, 2006）によると、ゆかにおいては、倒立、後方宙返り3回ひねり、等々合計132の技が定義づけられており、すべての種目の技を合わせると膨大な数に上る。したがって、体操競技において上記の「技術」の定義における「特定の運動」とは、個々の技のひとつひとつに相当するものであると言える。さらに、ある技を実現させる技術は一つだけであるとは限らないため、体操競技における技術は技の数以上

に存在することになる。

他のスポーツ同様、体操競技においてもその技術トレーニングの過程は単純なものから複雑なものへ、簡単なものから難しいものへと進むが、その過程において適切ではない技術の選択や指導がなされてしまうと、続く指導において不都合が生じることが多々ある。習得すべき技術が習得されていないと、その技術から派生した技術を習得することができないことは当然である。ある技の習得の際に選択される技術は指導者によって、選手によって異なることも珍しいことではない。しかし、選択する技術を間違えると、その技は何とかできるようになっても、さらに複雑な技、難しい技となるとその習得に行き詰ることがある。こうした行き詰まりを防ぐためにも、選手育成の時々において適切な技術の選択が指導者にとって大きな課題となる。

様々なスポーツ種目において、どのような動きが望ましいのか、それはどのように獲得できるのかといった技術トレーニングの方向性に関する情報はバイオメカニクスや運動学の研究によって明らかにされることが多い。しかしながら体操競技においては、これまで特に日本において、定量化の手段をとらず運動の「かたち」を重要視し、モルフォロジー（形態）的研究手法を主体とするマイネル運動学的な研究は散見されるものの、バイオメカニクスの視点からひとつひとつの技の技術を明らかにすることが活発になされてきたとは言いがたい。これにはいくつかの原因があるだろうが、上記のように無数に存在する技ひとつひとつに関して、その技術を明らかにする研究をすべて行うことは現実的に考えにくいことがその最も大きなひとつであろう。そのため、例えば鉄棒の後方車輪や前方車輪のように、数多くの技を実施する際の基本となっている技や、多くの選手が共通して演技にとり入れている技が研究の対象となる場合が多い。

とはいえ、体操競技における効果的な技術トレーニング方法の構築の観点から言えば、数多く存在するひとつひとつの技に関する技術情報を明らかにすることは非常に重要な意味をもつ。ある技の実施にとって何が重要な技術ポイントなのか、どのような技術を獲得しておくことがより発展した技を実施する際に有利になるのか、習得すべき技をどのような順序で指導すべきなのかといった情報は、トレーニング計画の立案において必要不可欠であるからである。そうした情報の収集が体操競技の発展に大きく貢献すると思われる。

本研究では、体操競技の特性をふまえたうえで、体操競技の技術トレーニングにおいて必要とされる個々の技の技術情報をバイオメカニクスの見地から明らかにし、さらに体操競技の技術トレーニングにとって必要な情報とは何か、その収集方法にはどのようなものがある

のかを考察していきたい。

繰り返しになるが、本論文においては技、技術、技能を以下のように定義づけることとする。

技：体操競技における個々のひとまとまりの運動。

技術：ある特定の運動についてその運動課題を解決する方法。

技能：技術がどの程度実現できるかという能力。

第2節 体操競技の特性と技術トレーニング

1. 体操競技の特性

体操競技は、男子 6 器械種目（ゆか、あん馬、つり輪、跳馬、平行棒、鉄棒）、女子 4 器械種目（跳馬、段違い平行棒、平均台、ゆか）で構成される。男女跳馬の演技は助走に引き続いて 1 つの技のみが行われるが、それ以外の種目では、技を十数個連続して行うことによって演技が構成される。体操競技における勝敗は、その演技を審判員が規則に則って採点することによって決せられる。

採点のための規則、すなわち採点規則では、演技に要求される技の数、種類、実施に対する減点基準が定められているが、競技において優位に立つためにはより難度の高い技を数多く取り入れ、しかもその技を実施する際に減点が少ない演技を行うことが要求されている。したがって体操競技では、どのような技をどのように行ったか、言い換えれば行われる技の種類と出来栄が競われ、さらにその判定は、審判員という人間の判断によってすべてが決せられるという特性をもつ。どのような技を行ったかに対する評価は、採点規則で決められたひとつひとつの技の難度にもとづいて行われ、より高い難度をもつ技の実施が望まれている。難度の決定には、かかえ込みよりも屈身、屈身よりも伸身といった姿勢の大きさ、ひねりや宙返りの回転数の多さが影響を与える。あわせてどの程度一般的か、言い換えればどのくらいの選手が実施しているかという尺度も用いられる。また、どのように行ったのかを評価するうえでも、採点規則によって美的欠点、姿勢欠点、技術欠点が定義され、そうした欠点に対する減点がなされるようになっている。金子（1985）はこうした体操競技のもつ特性を、「非日常的驚異性」、「姿勢的簡潔性」と表現している。

どのような技をどのように行ったかが競われ、それを審判が判断するという競技特性をもつスポーツ種目は採点競技といわれ、体操競技の他に、新体操、フィギュアスケート、シンクロナイズドスイミング、飛び込み、ハーフパイプなどがあげられる。体操競技に限らずこうした採点競技では、ある運動を、審判員がその運動の運動課題を解決したと判断・判定するのに足る必要条件を満たすことと同時に、その運動を優れた実施で行ったと判定されるための十分条件を満たすことが選手に要求される。体操競技では、ある技について、何をもってその技の成立とみなすのか、その技にどのような実施が要求され、どのような実施がそこ

から逸脱したものと判定されて減点されるべきかは審判の判断に委ねられるが、審判は、最新の体操競技について理解し何が現代の体操競技に求められている技なのか、どのように発展していくかを知らなければならない（財）日本体操協会，2006）。審判の判定が競技の勝敗を決するのであるから、技の成立と望まれる実施に関する審判の判定基準は、当然のことながら選手や選手を指導する者と共有されていなければならない。したがって、現在どんな技がトップレベルの選手の演技に取り入れられているのか、それらがどのように行われているのか、どう行われるべきなのかに関する情報の収集と、トップレベルに限らずどんなレベルであれ、現在選手が演技に取り入れようとしているすべての技がどのように行われるべきなのかを厳しく吟味する姿勢が、審判のみならず指導者、選手に要求されることとなる。

2. 体操競技の技術トレーニング

1) 体操競技の技術トレーニングの対象

金子（1985）は、体操競技のトレーニングで取り上げるべきこととして、すでに習得した技の習熟度を維持する「既習技の維持」、経験したことのない技を習得し習熟する「持ち駒の増大」、ひとつひとつの技を十数個つなげた演技の中で熟練した実施で行うことができるようにする「演技力の向上」、「試合体力の向上」、「試合精神力の向上」をあげた。このうち「既習技の維持」、「持ち駒の増大」、「演技力の向上」、は技の習得・習熟と同義と捉えることができよう。したがって体操競技における技術トレーニングは、選手自身がこれまでに経験したことのない新しい技を「習得」し、それをより望ましい実施に近づけるように「習熟・修正」するという意味をもつ。これが体操競技の技術トレーニングの対象であるといえる。

2) 体操競技の技術トレーニングに必要な情報

実際の指導現場において選手が技の習得あるいは習熟を目的とした技術トレーニングを行う際、当然のことながら指導者はその技の技術について熟知している必要がある。運動技術はその運動の課題を解決する方法であるから、指導者が選手にある技を習得させようとする場合、その技のやり方すなわち運動技術を理解していなければならない。技のやり方を知らずにその技を指導することは不可能であることなど、改めて述べる必要もあるまい。しかし、運動指導の際には指導者にとって必要不可欠の技術情報ではあるが、膨大な数の技のすべてについてこれが明確にされているわけではないし、明らかにされていることでもすべての指導者にその情報が共有されているわけではない。

したがって、技を指導する際にまず必要なことは、その技の実施を可能にさせるその技の技術がどういったものかという情報の収集である。指導者の側からすれば、それはすなわち選手に身につけさせることがらに関する情報の獲得ということになる。ここにおいて、ある技の技術とは何かを明らかにすることが求められる。

技の技術が明らかにされたところで、次に必要なことがらは、その技術をどのようにすれば身につけられるのかといった方法論に関する情報の収集である。技のやり方、すなわち技の技術と、その習得方法である指導方法や練習方法とは、「運動技術に対する認識なくして指導方法はありえない（佐藤,1990）」といわれるように表裏一体の関係にあるが、技術を知っ

ていさえすれば教えられる、というわけにはいかない。朝岡(1997)が指摘するように、『『ど
のようになっているのか』に関する情報は『どのようにすればできるのか』に関する情報に
ただちに置きかえられるとは限らない』のである。例えば一般にもなじみの深い鉄棒の「け
上がり」という技には、重要な技術として「肩角度減少技術」(金子,1989)があげられてい
るが、ではどのような練習をすればこうした動作が身につくのかを知らなければ、効果的な
指導はできないのである。また、その練習方法によってどんな技術の習得が促されるのか、
それによって習得が望まれる技術がはたして本当に習得すべきものであるのかどうかの検証
がなされないまま練習方法のみが採用されることも、スポーツの現場では珍しいことではな
い。したがって、どんな技術を習得すべきかが明らかにされたら、その技術習得のためにど
のような方法を用いることが有効であるかの検討が加えられる必要があり、そのための研究
が求められることになる。

技の技術が明らかになり、その技術獲得のための指導・練習方法が明らかにされたうえで、
実際に技の習得のための技術トレーニングが行われる。一旦技術トレーニングが行われ始め
ると、そこでは「できない」という大きな問題が生じることになる。この問題の解決にあた
っては、まず「やるべきことがなされていない」というように選手の運動と目標とされる運
動との間のずれを確認し、次にそのずれを修正するにあたって、「こうやろうとしているのに
そうっていない」というように選手の自分の運動に対する感覚と実際の運動との間のずれ
を確認する、すなわち「目標像の確認と欠点の意識化」(金子,1990)が必要となる。指導者
側にとっては、実際に運動している選手の運動のよしあしを把握し、長所や欠点を見抜くこ
とと、その原因を探ることが要求されることになる。ここにおいて、まず目標像と実際の運
動とのずれの明確化と、学習者の感覚と実際の運動とのずれの明確化が求められることにな
る。

目標像と実際の運動とのずれの明確化と、学習者の感覚と実際の運動とのずれの明確化が
なされた後、さらに、そうした問題の解決にあたってどのような修正方法を用いるべきかを
明らかにするための判断材料が求められ、それが運動分析によって提供される可能性がある。

第3節 体操競技に関する自然科学的研究概観

1. 体操競技に関する生理学的研究概観

1) 各種目の生理学的特徴

それぞれの器械種目における演技時間は、表 1.3.1 に示すとおりである。男子のあん馬、つり輪、平行棒、鉄棒、女子の段違い平行棒については、演技を行うために器具上にとび上がる際と、最後の技（終末技）を行って着地する以外、すべての技は上肢によって支えられるか懸垂した姿勢で行われる。これ以外の、男女のゆかと跳馬、女子の平均台は、上肢と下肢による支持に加え、下肢によって跳躍を行う技がその演技の大半を占める。競技会時には演技は各種目 1 回だけ行われるが、普段のトレーニングの場では、個々の技を単独で何度も行ったり、演技を数回以上行うことが一般的である。

体操競技の演技中の運動強度を明確に測定した研究は非常に少ないが、Montgomery と Beaudin (1987) は、技能レベルが異なる若年女子選手の演技中の心拍数と演技後の血中乳酸値を測定している。それによれば、技能レベルが高い選手グループの演技中の平均心拍数は、段違い平行棒（182 拍/分）が最も高く、ゆか（175 拍/分）、平均台（170 拍/分）の順に小さくなり、血中乳酸値は段違い平行棒、ゆかがほぼ同程度で最大血中乳酸値の約 48～52% の値を示した。こうした値は技能レベルが低い選手グループよりも有意に高い値を示していたが、これは高い技能レベルの選手がより難度の高い技を数多く行うことによるものと思われる。

Goswami と Gupta (1998) は、跳馬を除く男子 5 種目の演技中の平均心拍数と演技後の血中乳酸値を測定している。彼らは、演技中の平均心拍数は鉄棒（168.9±13.6 拍/分）が最

表 1.3.1 2000 年オリンピックシドニー大会種目別決勝出場者の演技時間

男 子			女 子		
ゆ か	66.7 ± 3.48		跳 馬	6.6 ± 0.68	
あ ん 馬	39.8 ± 5.03		段 違 い 平 行 棒	35.8 ± 4.01	
つ り 輪	50.0 ± 3.81		平 均 台	85.9 ± 3.39	
跳 馬	6.8 ± 0.45		ゆ か	86.6 ± 2.52	
平 行 棒	37.1 ± 4.77				
鉄 棒	42.0 ± 7.42				

単位：秒，平均±SD，各種目n=8
(土屋調べ)

も大きく、ゆか (160.6 ± 16.2 拍/分)、つり輪 (155.8 ± 9.8 拍/分)、平行棒 (153.8 ± 15.9 拍/分)、あん馬 (134.1 ± 10.2 拍/分) の順に小さくなることを報告している。こうした平均心拍数の値は、各被験者の最高心拍数 (198.6 ± 5.7 拍/分) のおおよそ 65~85% であった。演技後の血中乳酸値は、ゆか (7.11 ± 1.17 mM/l)、つり輪 (6.77 ± 0.56 mM/l)、平行棒 (6.23 ± 0.91 mM/l)、鉄棒 (5.97 ± 0.86 mM/l)、あん馬 (5.18 ± 0.20 mM/l) の順に小さくなった。演技中の心拍数や演技後の血中乳酸値は、演技の数が増えるにつれて増加していったことも合わせて報告されている。

2) 選手の体力的特徴

a) 形態的特徴

1996 年に開催されたオリンピックアトランタ大会の日本代表選手を対象に行われた体力測定 (財団法人日本オリンピック委員会選手強化本部 1996a) の結果によれば、体操代表選手の平均身長 (男子 163.0 ± 5.32 cm、女子 150.3 ± 4.87 cm)、平均体重 (男子 60.1 ± 5.71 kg、女子 41.8 ± 3.51 kg)、平均体脂肪率 (男子 12.6 ± 0.68 %、女子 15.1 ± 1.20 %) のいずれも、他のスポーツ種目と比較して非常に小さい値を示している。特に女子は身長と体重ともにすべてのスポーツ種目のなかで最も小さかった。一方で、立位体前屈は男子が最も大きな値 (25.2 ± 4.93 cm)、女子も 3 番目に大きな値 (25.9 ± 1.21 cm) を示した。

また、体操選手は踏み切りや着手といった繰り返される衝撃に対応して、骨密度 (BMD) が一般人や水泳選手と比較して有意に大きいという報告が多くなされている (Dyson ら, 1997、Nickols-Richardson ら, 1999, 2000、Robinson ら 1995)。

b) 体力的特徴

上記体力測定では、身体各部の筋厚と肘関節、膝関節の屈曲・伸展トルクを測定している。それによれば、男子体操代表選手は、筋厚当たりの肘関節屈曲トルクが他のスポーツ種目の代表に比べて高い値を示し、さらに上腕背部の筋厚と肘伸展トルクはともにすべてのスポーツ種目の代表選手中最も大きな値を示した。これに対して大腿前後の筋厚と膝伸展・屈曲トルクは他のスポーツ種目の代表に比べて小さい傾向にあった。女子では筋厚、関節伸展・屈曲トルクに男子のような特徴はみられなかった。これは、男子 6 種目中 4 種目が上肢の大きな筋力を必要とするのに対して、女子では 4 種目中 3 種目が上肢だけではなく下肢の筋力を必要とするといった種目特性が影響しているように思われる。

体操選手は上肢の大きな筋力が必要とされるばかりではなく、ゆかの宙返りの踏み切りや跳馬の踏み切りのように、習慣的に下腿三頭筋を使ったプライオメトリック的な運動を行っている。伊藤と斉藤（1989）は、陸上短距離選手や水泳選手、一般成人に比べ、体操選手は反動を用いたつま先ジャンプのジャンプ高が最も大きく、反動ジャンプの効率が高いことを報告している。

有酸素能力については体操競技の運動特性からあまり注目されないが、トレーニング時間が長時間にわたることなどを理由に向上させるべきであるという意見もある（Barantsev,1990）。日本を代表する体操選手の最大酸素摂取量は、男子（n=11）が 51.94 ± 3.51 ml/kg/min、女子（n=5）では 46.92 ± 3.04 ml/kg/min という値が報告されている（財団法人日本オリンピック委員会選手強化本部,1996b）。

2. 体操競技に関するバイオメカニクス的研究概観

ここでは器械種目ごとに最近発表された体操競技のバイオメカニクス的研究を概括する。

1) ゆか

男女に共通した種目である「ゆか」の演技は、前方や後方への宙返りをその代表とするアクロバット系の運動と、ターンや開脚ジャンプのようなダンス系の運動などによって構成される。バイオメカニクス的研究の対象は、このうちアクロバット系の運動に集中している。

Hwang ら (1990) は、1988 年に行われたオリンピックソウル大会の個人総合選手権時の演技から、後方かかえ込み 2 回宙返り、後方かかえ込み 2 回宙返り 1 回ひねり、後方伸身 2 回宙返りの 3 つの宙返りについて、その踏み切り時の身体重心の速度と身体重心まわりの角運動量を算出し、比較している。

それによれば、踏み切り前の身体重心の水平、垂直方向の速度は 3 つの宙返りで差がなかったのに対して、踏み切り直後では、水平方向の速度が後方かかえ込み 2 回宙返り 1 回ひねり、後方伸身 2 回宙返りとも後方かかえ込み 2 回宙返りより有意に大きく、垂直方向の速度は後方伸身 2 回宙返りが後方かかえ込み 2 回宙返り、後方かかえ込み 2 回宙返り 1 回ひねりに比べて有意に小さかった。また、身体重心まわりの角運動量は、3 つの宙返りすべてにおいて踏み切り中に減少しているものの、後方伸身 2 回宙返りではその減少の幅が小さく、踏み切り直後の値を他の 2 つの宙返りと比較すると有意に大きな値であった (図 1.3.1)。後方伸身 2 回宙返りへの踏み切り時の角運動量の維持には、体幹の動きが大きな役割を担っていることも明らかにされている。

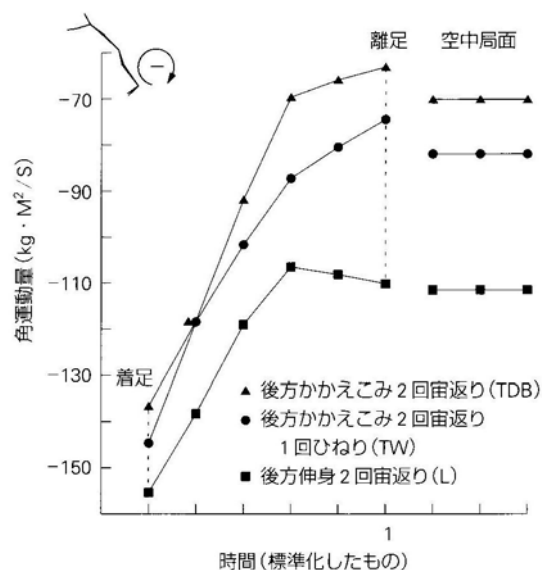


図 1.3.1 ゆかにおける後方宙返り系技の踏み切り時の角運動量の変化 (Huang, I., et al., 1990)

2) あん馬

あん馬では、旋回技と片脚振動技が行われる。旋回技については、最も基本的な技である

2つのポメル（把手）上で行われる旋回を2次元的に動作分析した例が過去に見られるものの、詳細な3次元的动作分析を試みた研究はほとんどない。その理由としては、単なる旋回の連続はもはや現在の体操競技では行われることがほとんどなく、すべての旋回技がひねりを伴ったり身体の向きを常に変化させるように3次元的に行われることがあげられよう。あん馬に関するバイオメカニクス的研究については、動作の分析よりもむしろ、ポメルにかかる力の力学的測定が行われている。

Markolfら（1990）は、あん馬のポメル上に加わる力を旋回技と交差技で測定している。それによれば、通常の両脚旋回実施時にポメルに加わる力の最大値は、体重の1.00～1.50倍、交差実施時にはおなじく体重の1.05～2.00倍であった。こうした力が瞬時に手関節に加わることから、体操選手の手関節痛が引き起こされていると考察している。

3) つり輪

つり輪に関するバイオメカニクス的研究の数も非常に少ない。あん馬と同様、すべての運動が3次元的に行われることがその大きな原因であると思われる。そうしたなか、Springsら（2000）は、つり輪における後方車輪実施時の肩関節と股関節で発揮されるトルクとパワーを算出している（図1.3.2）。それによれば、後方車輪の実施時にはつり輪のケーブルにかかる張力は最大で体重のおよそ6.5倍であり、倒立からの振り下ろし時前半

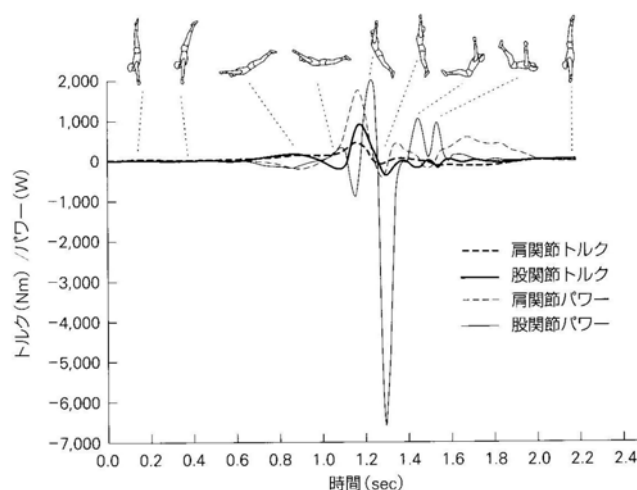


図 1.3.2 つり輪における後方車輪実施時に肩関節・股関節で発揮されるトルクとパワー (Springs, E. J., et al., 2000)

に股関節の屈曲トルクと肩関節の伸展トルクが発揮されて身体が過度に反るのを防ぎ、続いて股関節の伸展トルクが発揮されて望ましい身体の反り姿勢がとられ、その直後に股関節の屈曲トルクと肩関節の伸展トルクが発揮される。その直後に股関節の伸展トルクが発揮され、その後股関節の屈曲トルクが発揮は見られなくなり、身体が倒立位に再び上昇するまでに再び股関節の伸展トルクが発揮される。こうした変化を示す各関節のトルクからパワーを算出し、肩関節でのパワー発揮がこの技の実施に重要な役割を担っていることを明らかにしている。

4) 跳馬

跳馬は比較的バイオメカニクス的研究の対象となりやすい種目である。なぜならば、1つの演技で1つだけの技が実施されること、助走から踏み切り、第1空中局面、着手、第2空中局面、着地といった運動の局面が明確ですべての技に共通していること、力学的にみて踏み切りと着手局面が様々な技の成否にとって重要な局面であることが理解されやすいこと、特に前転とび系の運動では着手局面中までにひねり動作が見られず2次元的な分析が可能であること、などがあげられる。

近年世界のトップクラスの選手間で実施されている「前転とび前方かかえ込み2回宙返り(ローチェ)」のバイオメカニクスの特徴を、同じ前転とび技群である「前転とびひねり後方伸身宙返り(伸身クエルボ)」と比較した研究がなされている(日本体操協会研究部,1999)。そこでは、「ローチェ」は「伸身クエルボ」に比べて、跳馬着手局面中の身体重心まわりの角運動量の減少が大きいこと、その反面、同局面中の身体重心の鉛直方向の速度が増加していることを明らかにし、多少角運動量を犠牲にしても身体が運動する空間の高さを作り出す着手技術が必要であることを示した(図1.3.3)。

跳馬については、国際的には2001年より vaulting table と称される新しい規格の器具が採用されるようになっており、従来の跳馬との技術的差異の分析が望まれる。

5) 平行棒

Prassas と Papadopoulos (2001) は、平行棒の代表的な技術である「後方棒上宙返り」と「後方宙返り下り」について、身体重心の速度と質量を乗じた運動量の変化から力を算出

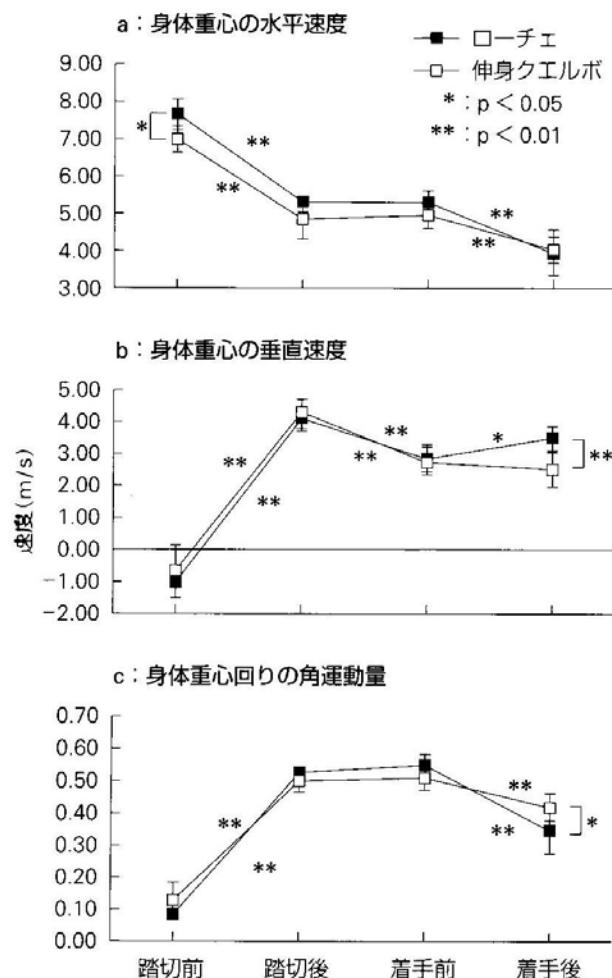


図 1.3.3 ローチェと伸身クエルボ実施時のバイオメカニクスの変数の変化 (日本体操協会研究部, 1999)

し、それぞれの技の力学的な特徴を明らかにしている。そこでは、後方棒上宙返りは後方宙返り下りに比べ、離手後の身体重心位置がより高く、支持前振り時に身体重心にかかる力の水平成分がより大きいことが報告されている。彼らはまた審判員による技のできばえの評価と力学量との関係を検討し、審判からの評価が低い実施では、支持振動の後半で身体重心にかかる力の水平成分が大きく、またその鉛直成分が大きく減少し、離手後の身体重心の高さが低いことを明らかにしている。

6) 鉄棒

鉄棒も跳馬と並んで実施された研究数が多い種目である。ひねりを含まない矢状面上の技が多く存在することが大きな原因であろうと思われる。過去には後方車輪や前方車輪といった基本的な技が研究対象として取り上げられ、その運動学、運動力学的特徴が明らかにされてきた。近年ではより複雑なひねりを伴う宙返り技についての研究や、手離し技や下り技を実施する際のエネルギーの変化に関する研究も行われている。

鉄棒の下り技では、宙返りにひねりを加えた技の実施が一般的になっている。宙返りにひねりを加える方法については、身体がゆかや鉄棒などの器具から離れる前にそうした器具に力を加えることによってその反作用でひねりのトルクを得る方法と、身体が空間に飛び出してから身体を左右非対称に動かして宙返りの角運動量のベクトルを分割し、ひねりを生み出す方法などがあることが古くから紹介されている。

Yeadon (1997b) は、2 回宙返りにひねりを加えた鉄棒の下り技でのひねりの発生方法を実際の競技会のデータとコンピュータシミュレーションを用いて分析している。そこでは、2 回宙返りの最初の宙返りでひねりを多く行う場合には、選手は鉄棒から手が離れる前にひねりを発生させていること、2 回目の宙返りでひねりを行う場合には、空間において腕や腰を左右非対称に動かして、身体を宙返りの角運動量に対して直交する矢状面に対して傾斜させることによってひねりの角運動量を得ていることが実証されている。彼はつり輪の下り技についても同様の結果を得ている (Yeadon,1994)。さらに彼は前方 2 回宙返り (1 回目の宙返りは屈身、2 回目は伸身) において、2 回目の宙返りにひねりを加えるシミュレーションを行い、効果的なひねりの指導について考察している (Yeadon,1997a, 図 1.3.4)。まず、屈身から伸身姿勢に変化した 2 回目の宙返りのみを考える。ひねりを生み出すための身体の傾斜を股関節の動作のみで行い、左右の腕は全く対称に位置させて 1/2 ひねりを加えるために必要な傾斜角度は 10° であった。これに左右の腕を内転させて体幹にそえる動きを加えると、

腕が体幹にそえられることによつてひねりの軸まわりの慣性モーメントが小さくなるため、宙返り自体の角運動量は最初のシミュレーションよりも2%小さい値で1回半のひねりが行われる。宙返り1回目の屈身姿勢から2回目の伸身姿勢に変化する際、上記の1回宙返りと同じ股関節の左右非対称の動きを加えることによつて2回宙返りの2回目にひねりを加えることが可能になるという。

今後こうしたコンピュータシミュレーションを用いた研究によつて、より効率のよい動きやその指導方法が発見される可能性がある。

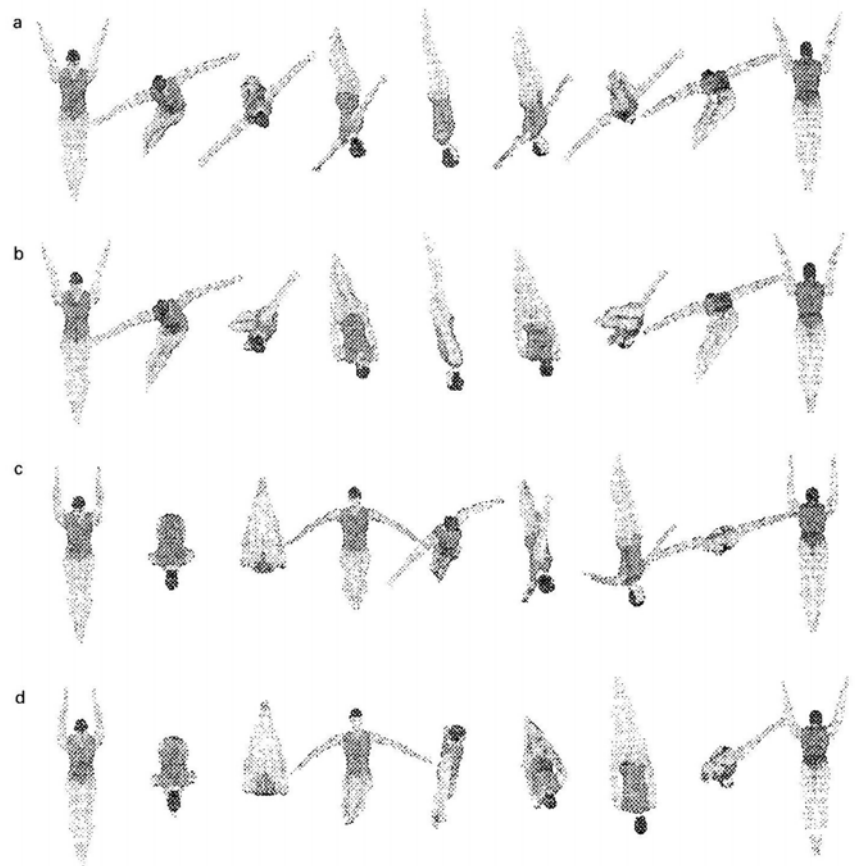


図 1.3.4 宙返りにひねりを加えるシミュレーション (Yeadon, M. R., 1997a)
 a: 前方宙返りに 1/2 ひねりを加える. b: 前方宙返りに 1 と 1/2 ひねりを加える. c: 前方 2 回宙返りの 2 回転目に 1/2 ひねりを加える. d: 前方 2 回宙返りに 2 回転目に 1 と 1/2 ひねりを加える.

第4節 本研究の目的

本研究の目的は、体操競技の効果的な技術トレーニングの構築において重要な情報となる様々な技の技術情報をバイオメカニクス的に明らかにすることである。具体的には以下の通りである。

1. 鉄棒における「け上がり」を取り上げ、け上がりの成功例と失敗例、およびけ上がりの習得過程の運動動作について **Kinematic** な分析を行い、け上がりの技術ポイントを明らかにする（第2章）。

2. ゆかにおいて後方宙返り系技群の助走的な役割をもって頻繁に行われる「後転とび」を取り上げ、その特徴を明らかにしたうえで、比較的新しく出現した従来とは異なる運動形態をもつ後転とびの有効性と、有効な踏み切り技術を **Kinematic** に分析する（第3章）。

3. 段違い平行棒における「後方車輪」について取り上げ、その運動課題の達成に関節で発揮されるパワーが及ぼす影響と、後方車輪の速度を増加させる筋力発揮動態を **Kinetic** な分析によって明らかにし、この運動課題を達成するための効果的な技術・体力トレーニングのあり方を検討する（第4章）。

4. 平行棒の「後方車輪」系技を取り上げ、「後方車輪」と、その発展技である「後方車輪から後方かかえ込み2回宙返り腕支持」、さらに「後方車輪から後方屈身2回宙返り腕支持」の実施中に関節で発揮されるトルク、パワーの変化を **Kinetic** な分析によって明らかにし、それらの運動技術の類似点と差異を明らかにしたうえで、この技群を効率よく習得するために必要な技術・体力トレーニングのあり方を検討する（第5章）。

第2章 鉄棒におけるけ上がりのバイオメカニクス

第1節 鉄棒における「け上がり」

鉄棒運動における「け上がり」は、19世紀半ばにドイツのクンツ（Kunz,C.）によって初めてその運動形態が発表された（金子,1989）。現在では学校体育においても取り上げられる基本的な技の一つとなっている。

け上がりの運動技術について本間（1940）は、これを「蹴って上がる」運動であると表現し、「蹴る」という股関節伸展動作が最も重要であると主張した。一方、石田（1961）は、それまで一般的とされてきた「蹴って上がる」という認識の誤りを指摘し、け上がりが回転運動であることを述べ、「体に回転性を与える上に直接的なしかも最大の影響力」を持つ肩関節の伸展動作が、け上がりの成功に最も重要であるとした。また、金子（1989）は、け上がりの本質的な技術が「肩角の急速な減少」であるとし、肩関節の伸展動作の重要性を述べ、この動作における力発揮が日常生活では稀なために、け上がりの習得を困難にしていると報告した。さらに、け上がりの習得のために必要な技術として、振れ戻る際の加速を保証する「きりかえし技術」や、肩関節を伸展させながら腕立て支持の状態を作る「上昇回転技術」が重要であると指摘した。

以上のように、け上がりの運動技術に関する報告は数多くなされ、現在では、け上がりにおいて最も重要な役割を担うのは「肩角の急速な減少」、すなわち、肩関節の伸展動作であり、股関節の伸展動作は肩関節伸展の補助動作であるとの考え方が主流である。しかし、それを定量的に分析した例は少ない。榎木ら（1981）は練習前後のけ上がり動作変化について比較検討しているが、肩関節についての言及はなく、け上がりの技術ポイントを明らかにするまでには至っていない。また山田ら（2001）は、け上がり動作中に肩関節と股関節で発揮されるトルクやパワーの動態について報告しているが、関節角度の変化のような、運動動作そのものの形がどのようなものであるかについての言及はなされていない。

第2節 鉄棒におけるけ上がりの運動技術に関する研究

1. 目的

本研究では、指導現場への応用を視野に入れ、け上がりの成功例と失敗例、およびけ上がりの習得過程の運動動作について映像分析を行い、け上がりの技術ポイントを明らかにすることを目的とした。

2. 方法

1) 実験1：け上がりの成功例と失敗例の比較

a) 被験者

被験者は、成功群として男子大学体操競技部員3名(年齢 21.3 ± 0.7 歳、身長 168.9 ± 3.4 cm、体重 61.0 ± 2.5 kg、競技歴 11.7 ± 2.4 年)、失敗群としてけ上がり成功経験のない一般男子大学生3名(年齢 21.6 ± 0.9 歳、身長 172.7 ± 5.1 cm、体重 62.5 ± 2.8 kg)であった。被験者には実験の内容について十分な説明をし、参加の同意を得た。

b) 実験手順と測定項目

被験者に高さ1.5mの低鉄棒で1日10回ずつ、け上がりを行わせた。実験に先立ち、被験者に十分な準備運動を行わせ、失敗群には、金子(1985,1989)の報告から、「きりかえし技術」と「上昇回転技術」について指導した上で、股関節伸展動作は肩関節伸展動作の補助動作であることを認識させた。立位姿勢で鉄棒を握った状態を開始姿勢とし、全被験者に最大努力のけ上がりを行うように指示した。被験者の動作を左側方10mの距離からハイスピードカメラ HSV-500C3 (nac 社製)により、250fps、露出時間 1/500sec で撮影した。その映像より、動作解析用ソフトウェア (Mikromak 社製, WINalyze1.7) を用いて、け上がりの前振り足先が鉄棒の真下を通過する点から、成功の場合は腕立て支持が認められた時点、失敗の場合は落下して地面に着地した時点まで、1フレームおきに身体の9つの計測点(指先点、橈骨茎突点、橈骨点、肩峰点、耳珠点、転子点、脛骨点、外果点、足先点)における矢状面での2次元座標値を求めた。被験者の各計測点には、あらかじめ反射テープを貼付し、デジタル化の際の助けとした。分析には実験を行なった日の最後の試行をデータとして使用した。

c) 分析項目

股関節と肩関節の動作について検討するために、求めた計測点の2次元座標値から股関節角度（肩峰点—転子点を結んだ線分と、転子点—脛骨点を結んだ線分とが身体の前面でなす角）と肩関節角度（橈骨点—肩峰点を結んだ線分と、肩峰点—転子点を結んだ線分とが身体の前面でなす角）を算出した。股関節角度は伸展方向を正、肩関節角度は屈曲方向を正とした。また、け上がり動作を捉えやすいように、外果点と鉄棒との距離を算出した（図 2.2.1）。

次に、身体を8つのセグメントから成るリンクモデルに置き換え、求めた9計測点の2次元座標値から、松井（1967）の身体部分の重心位置と質量比を用いて身体重心位置を算出した。身体重心と鉄棒を結ぶ線分と、鉄棒への垂線とが成す角（ θ_{CG} ）を身体の振れ角とし、それを時間微分して身体重心が鉄棒を中心に回転する角速度（ $\dot{\theta}_{CG}$ ）と、そのピーク（Peak $\dot{\theta}_{CG}$ ）がいつ出現しているかを求めた（図 2.2.2）。

2) 実験 2：け上がりの習得過程の追跡

a) 被験者

被験者は、一般男子大学生 1 名（年齢 22 歳、身長 170.0cm、体重 61.0kg）であった。被験者は、過去にけ上がりを成功させた経験がなく、今回の練習によって初めてけ上がりを成功させた。被験者には、実験の内容について十分な説明をし、参加の同意を得た。

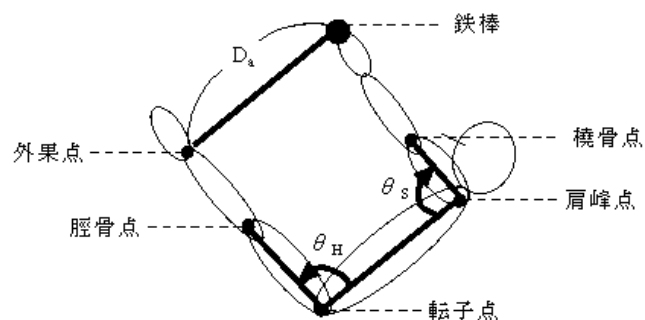


図 2.2.1 肩関節角度，股関節角度，鉄棒と外果点の距離の定義

θ_S ：肩関節角度
 θ_H ：股関節角度
 D_a ：鉄棒と外果点の距離

肩関節角度（ θ_S ）とは、橈骨点—肩峰点を結んだ線分と、肩峰点—転子点を結んだ線分からなる角。股関節角度（ θ_H ）とは、肩峰点—転子点を結んだ線分と、転子点—脛骨点を結んだ線分からなる角。鉄棒と果点の距離（ D_a ）は図示の通り。

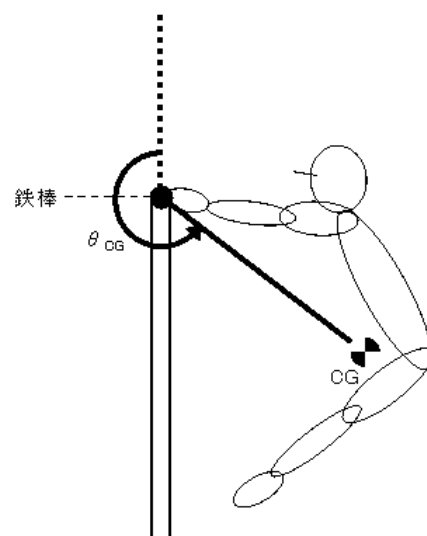


図 2.2.2 θ_{CG} の定義

鉄棒と重心を結ぶ線分と、支柱の延長線（鉄棒の鉛直上）から成る角を θ_{CG} とした。 θ_{CG} は、反時計回りの方向を正、時計回りの方向を負とした。

b) 実験手順と測定項目

実験は、2002年5月10日と同年11月19日の2回、それぞれけ上りを高さ1.5mの低鉄棒で10回行わせた。

実験では被験者に十分な準備運動を行わせた後、金子（1985,1989）の報告から、「きりかえし技術」と「上昇回転技術」について指導した上で、股関節伸展動作は肩関節伸展動作の補助動作であることを認識させた。すなわち、振れ戻りの際にまず股関節の屈曲を大きくし、足関節付近を鉄棒に近づけること、その後股関節を伸展させながら、鉄棒を足関節から股関節付近まで身体から遠ざけずに移動させるように肩関節の伸展を行うこと、その際、ひじ関節の屈曲をできるだけ制限すること、といった指導を行った。被験者には、常に最大努力のけ上りを行うように指示した。その他の実験手順、測定項目はすべて上記実験1と同様である。

2002年5月10日10回目（け上がり失敗）の試行をA、成功直前2002年11月19日1回目（失敗）の試行をB、成功した2002年11月19日7回目の試行をCとして分析の対象とした。

c) 分析項目

実験1と同一の項目について分析した。

3. 結果

1) 実験1：け上りの成功例と失敗例の比較

図2.2.3に成功群と失敗群における肩関節と股関節の角度変化、鉄棒と外果点の距離を示した。図中timeの0は、振れ角(θ_{CG})が最小を示した時点を示している。成功群では、すべての被験者において、各関節角度の増減の大きさとその時期がよく一致していた。すなわち、股関節角度は、前振り中に増大して最大値($171.63 \pm 11.24 \text{deg}$ 、各被験者の平均 \pm SD、以下同じ)を示してから、最大値出現後 $0.46 \pm 0.03 \text{sec}$ という短い間に身体の振れ角(θ_{CG})が最小値を示した時点をはさんで $68.82 \pm 2.71 \text{deg}$ まで急激に減少した。肩関節角度は、股関節角度が最大値を示した後 $0.14 \pm 0.11 \text{sec}$ といった非常に短い時間の後に減少し始めてから、振れ戻り後 $0.97 \pm 0.04 \text{sec}$ の間に急激に減少し、最小値(18.78 ± 6.50)を示した。肩関節角度が最小になる前に股関節角度は再び増大した。また、鉄棒と外果点の距離は、股関節角度が減少する時点から小さくなり、股関節角度が増大し始めた直後に最小値($0.28 \pm$

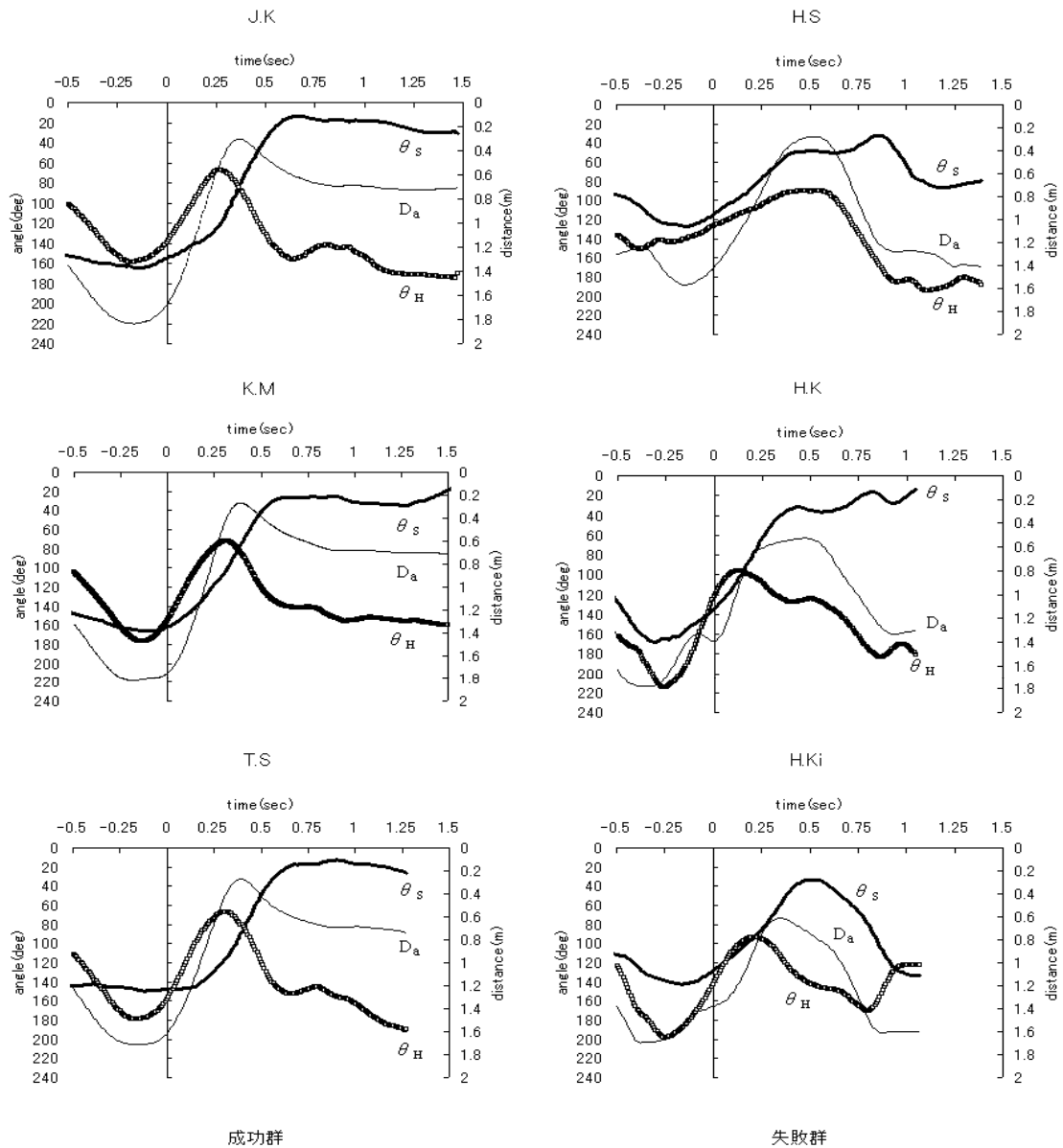


図 2.2.3 実験 1 における被験者別の肩関節・股関節角度, 鉄棒と外果点の距離

θ_s : 肩関節角度
 θ_H : 股関節角度
 D_a : 鉄棒と外果点の距離

横軸は θ_{CG} が最小の点を 0 とした。左半分に成功群の試行を、右半分に失敗群の試行を示した。

0.02m) を示した。一方、失敗群では被験者間で一定のパターンが見られなかった。しかしながら、失敗群で共通して成功群と異なっていた点は、肩関節角度と股関節角度がほぼ同時に減少し始めていたことであった。

表 2.2.1 に被験者ごとの Peak θ_{CG} と、被験者ごとの Peak θ_{CG} の出現タイミングを、振り戻りはじめを 0、肩峰点が鉄棒の高さに

表 2.2.1 実験 1 における θ_{CG} のピークとその出現タイミング

被験者	θ_{CG} のピーク (deg/sec)	タイミング (%)
T.S	413.86	100.00
JK	356.57	100.93
KM	354.10	79.20
HK	426.41	61.11
HKi	299.07	60.53
HS	294.58	48.54

実験 1 における被験者ごとの Peak θ_{CG} と、被験者ごとの Peak θ_{CG} の出現タイミングを、振り戻りはじめを 0、肩峰点が鉄棒の高さに達した時点を 100 としてパーセントで示した。

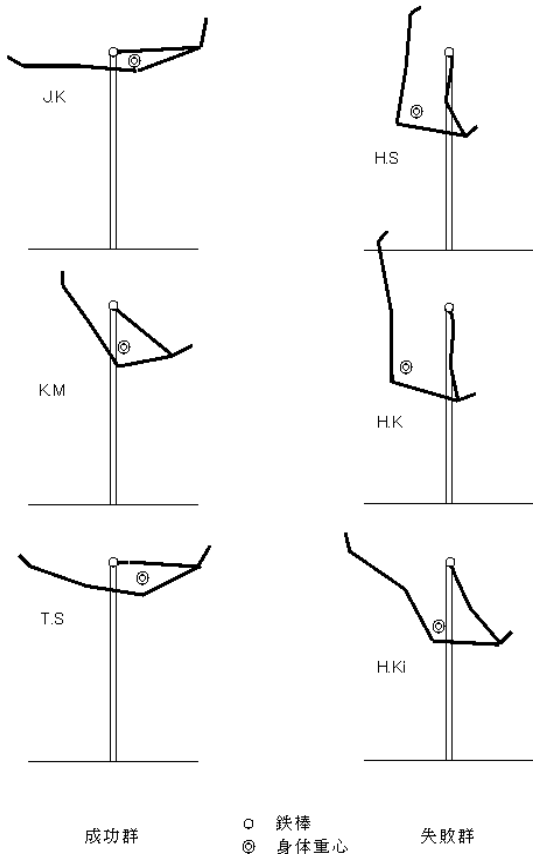


図 2.2.4 実験 1 で各被験者が peak $\dot{\theta}_{CG}$ を示した時点の身体姿勢

各被験者が Peak $\dot{\theta}_{CG}$ をとったときの身体姿勢を、スティックピクチャーで表した。

達した時点を 100 としてパーセントで示した。

Peak $\dot{\theta}_{CG}$ の大きさには、成功群と失敗群とで大きな差は見られなかった。さらに各被験

者が Peak $\dot{\theta}_{CG}$ を示した時点の身体姿勢を、

スティックピクチャーにより示した (図 2.2.4)。成功群の Peak $\dot{\theta}_{CG}$ は、いずれの被験者においても重心が鉄棒の真下を通過した後に出現した (79.20~100.93%時点)。それに対し失敗群の Peak $\dot{\theta}_{CG}$ は、すべての被験者において重心が鉄棒の真下を通過する前に観察された (48.54~61.11%時点)。

2) 実験 2 : け上がりの習得過程の追跡

図 2.2.5 に肩関節と股関節の角度変化、鉄棒と外果点の距離を試行別に示した。肩関節角度の減少は、失敗した試行 (A) では股関節角度の減少に 0.08 秒 (10 フレーム) 先立ってみられたのに対して、成功直前の試行 (B)、成功した試行 (C) では股関節角度の減少開始から 0.008 秒 (1 フレーム) ないし 0.016 秒 (2 フレーム) 遅れて始まっていた。また股関

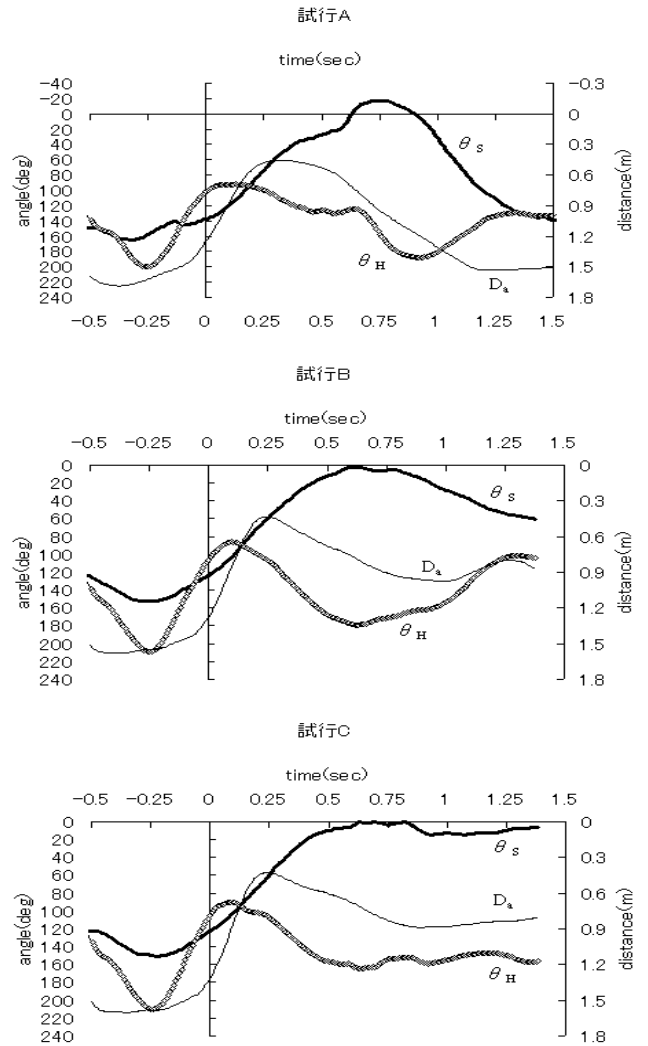


図 2.2.5 実験 2 における試行別の肩関節・股関節角度、鉄棒と外果点の距離

θ_s : 肩関節角度
 θ_H : 股関節角度
 D_s : 鉄棒と外果点の距離

横軸は θ_{CG} が最小の点を 0 とした。

節角度の最大最小の幅は、成功直前の試行（B:130.97deg）、成功した試行（C:130.97deg）に比べて失敗した試行（A:107.74deg）は小さかった。

表 2.2.2 に試行別の Peak $\dot{\theta}_{CG}$ と、試行ごとの Peak $\dot{\theta}_{CG}$ の出現タイミングを、振れ戻りはじめを 0、肩峰点が鉄棒の高さに達した時点を 100 として % で示した。Peak $\dot{\theta}_{CG}$ の大きさには、試行間でばらつきがあった。さらに、各試行において Peak $\dot{\theta}_{CG}$ が出現した時点の身体姿勢を図 2.2.6 に示した。各試行において Peak $\dot{\theta}_{CG}$ は、重心が鉄棒の真下を通過する前に出現したが、成功直前の試行（B:72.60%時点）、成功した試行（C:69.33%時点）では、失敗した試行（A）に比べて遅い時点で Peak $\dot{\theta}_{CG}$ が出現していた。

4. 考察

実験 1 では、け上がりの習熟者として体操競技選手（成功群）を、未習得者として一般学生（失敗群）を被験者として、成功群と失敗群の、主として肩関節と股関節の動作と、鉄棒を中心とした身体重心の振れの動態を定量的に比較した。その結果、成功群はいずれも、股関節屈曲が肩関節伸展に対して先行して起こり、その後肩関節が伸展していた。一方、失敗群は 2 例で股関節屈曲、肩関節伸展がほぼ同時に起こり、残りのもう 1 例では、肩関節伸展が股関節屈曲に対して先行していた。このような股関節屈曲、肩関節伸展のタイミングの違いが、け上がりが成功するかどうかに関わってくるものと考えられる。

これまでの技術指導書で、この股関節屈曲と肩関節伸展のタイミングのずれを明確に指摘したものは少ない。例えば、「(股関節屈曲による鉄棒への足首の) 引き寄せのときに、単に足をバーに寄せるといった外形だけではなく、肩帯の締めが同時に行われなければならない。

表 2.2.2 実験 2 における $\dot{\theta}_{CG}$ のピークとその出現タイミング

試行	$\dot{\theta}_{CG}$ のピーク (deg/sec)	タイミング (%)
A	343.58	59.03
B	311.66	72.60
C	354.10	69.33

実験 2 における試行別の Peak $\dot{\theta}_{CG}$ と、試行別の Peak $\dot{\theta}_{CG}$ の出現タイミングを、振れ戻りはじめを 0、肩峰点が鉄棒の高さに達した時点を 100 としてパーセントで示した。

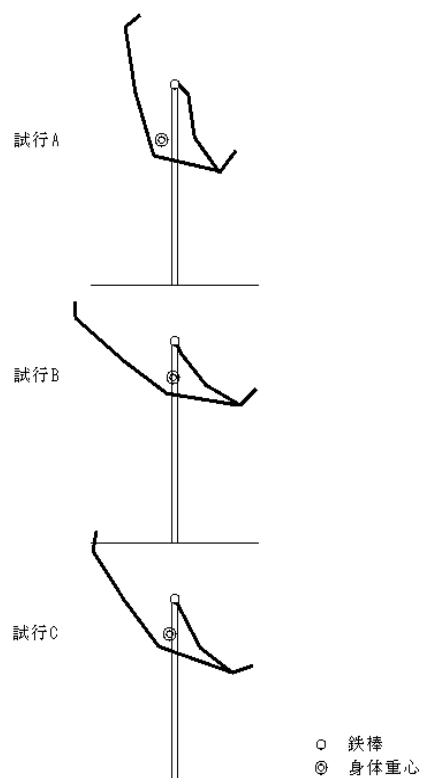


図 2.2.6 実験 2 で各被験者が peak $\dot{\theta}_{CG}$ を示した時点の身体姿勢

各試行において Peak $\dot{\theta}_{CG}$ をとったときの身体姿勢を、スティックビクチャーで表した。

つまり、肩角減少はすでに開始されているのである。」(金子,1989)といった表現はなされているものの、振れ戻りのいつの時点で肩関節伸展を開始すべきなのかについて明確な指摘はなされていない。本研究の結果から、け上りを成功させるためには、まず股関節が屈曲されてから肩関節の伸展を開始することが重要なポイントであることがうかがえる。

また、鉄棒を中心とした身体重心の回転の振れ戻りにおける角速度の大きさは、成功群と失敗群で大きな差が認められなかった。このため本研究の結果からは、鉄棒を中心とした身体重心の回転の振れ戻りにおける角速度の大きさは、け上りの成否を決定する要因の一つとは考えられない。換言すれば、本研究の結果は、いたずらに振りのスピードを高めることは指導の際に必要なことを示唆している。それに対し、身体重心が鉄棒を中心として振れ戻り際、角速度のピークの出現が成功群ではすべて身体重心が鉄棒の真下を通過した後に出現していること、失敗群ではすべてそれ以前に出現していることから、身体重心が振れ戻り際の角速度のピークの出現をできるだけ遅くすることが、け上りを成功させるために重要であるといえる。本研究の分析内容は、身体重心の振れ戻りの角速度のピークを遅くすることが、どのような身体動作によって生み出されるのかを明らかにするものではない。しかしながら、成功群と失敗群の肩角度伸展のタイミングが異なり、成功群では肩関節伸展の開始が股関節屈曲に対して遅いことから、おそらく肩関節伸展が身体重心の振れ戻りの角速度のピークを遅くすることに対して大きな影響を与えていることが予測され、ここからも肩関節伸展のタイミングの重要性が示唆される。

実験2では、け上りの未習熟者がそれを習得する過程の動作の変化を定量的に捉えた。その結果、け上りに失敗した試行では肩関節伸展が股関節屈曲に対して先行して起こり、け上がり成功の直前と成功した試行では、股関節屈曲と肩関節伸展がほぼ同時であった。け上りを成功させた試行も含め、これらは実験1において、失敗群に見られた特徴を表しており、実験1における成功群(体操競技選手)との間には、技術習得レベルにまだかなりの差があることがうかがえる。しかし、実験2の結果においても、肩関節の伸展は股関節の屈曲開始より早く始まってはならないことが重要な技術的ポイントであることがうかがえる。

また、鉄棒を中心とした身体重心の振れの角速度の大きさは、け上りの成否に大きな影響を与えていなかった。しかしながら、その最大値の出現は、実験1で熟練者が示した時点に比べればまだ早いものの、失敗した試行に比べて成功直前と成功した試行では遅い時点であった。このような結果も、振りのスピードを高めるといっても、その最大値の出現を遅くすることがけ上りの成否にとって重要なポイントであることを示唆しているものと考え

られる。

5. まとめ

本研究の結果から、以下のことがけ上がりの指導の際に重要な技術的ポイントであることが示唆された。

- ・前振りから振れ戻る際、肩関節の伸展は股関節の屈曲に先行してはならない。
- ・振れ戻りの際に身体重心がもつ鉄棒まわりの角速度の大きさ自体は、け上がりの成否に関係しない。
- ・振れ戻りの際に身体重心がもつ鉄棒まわりの角速度のピークの出現を遅くすることが重要である。

上記の、身体重心がもつ鉄棒まわりの角速度のピーク出現を左右する身体動作がどのようなものであるかについての検討が今後の課題である。

第3章 ゆかにおける後転とびのバイオメカニクス

第1節 ゆかにおける「後転とび」

アクロバット系の運動の良否が得点を大きく左右するゆかにおいては、姿勢欠点と着地減点のないことを前提として、より大きな姿勢でより多くの回転数をもつ宙返り系の運動の実施が要求される。この宙返り系の運動は回転方向によって後方・前方・側方に分類される。このうち後方・側方宙返り系の運動の実施にあたっては、側転とび 1/4 ひねり（ロンダート）や後転とびがそのための助走的な運動としてほとんど例外なく行われている。特に大きな空間もしくは多くの回転数を必要とするような後方・側方宙返り系の運動は後転とびからの実施が一般化しており、後転とびは後方宙返り系の運動実施のための助走的な役割をもって行われている。

後転とびはロンダートから実施される場合、着足局面、空中局面、着手局面、空中局面、着足局面（以後それぞれ第1着足局面、第1空中局面、着手局面、第2空中局面、第2着足局面）といった運動経過をたどり、最後の第2着足局面が後方宙返り系の運動の踏み切り局面と一致する。この技に関しては多くの指導書（Boone,1976、Bowersら,1981、George,1980、Hartley-O'Brien,1983、金子,1980,1982、リシツカヤ,とザグラダ,1978、Sands,1984、Schmidt,1980、スモレフスキーとクーリス,1978、塚脇,1980）や研究（Bruggemann,1987、栗原ら,1981、白石と山脇,1989、吉田ら,1981）が、直接的な表現ではないものも含めて後方への水平速度と角運動量を得ることの重要性を指摘している。なぜならば、宙返りの行われる空間の大きさ、宙返りの姿勢と回転数は、宙返りへの踏み切り時の水平・垂直速度と角運動量との関連によって規定されるからである。すなわち、後転とびにおいてより大きな水平速度を得て、宙返りの踏み切り時に水平速度を有効に垂直方向へと変換することによって、より高さのある宙返りの実施が可能となり、また大きな角運動量を得ることによって同じ大きさの空間でもより大きな姿勢で多くの回転数をもつ宙返りの実施が可能となるのである。

後転とびの終末局面であり、後方宙返りの踏み切り局面である第2着足局面においては、それ以前に身体がもつ水平方向の速度を必要に応じて垂直方向に変換すること、あるいは角運動量を変化させることが重要であるとされ、踏み切り時のこうした技術については、Bruggemann (1983,1987)、George (1976)、Hwangら (1990)、NicolとWatkins (1987)

がバイオメカニクス的に分析し報告している。しかしながら、後転とびはこれまで上記のように数多くの指導書や研究が取り上げているにも関わらず、後方宙返り系の運動への踏み切り局面以外の全運動経過におけるそのバイオメカニクス的な特徴を明らかにした研究は非常に少ない。

最近では、大まかな運動経過には変化はみられないものの、近年になって従来とは異なる運動形態をもったタイプが実施されるようになった。新しいタイプの後転とびが出現しはじめた 1980 年代前半には、Sands (1984) が指摘したように、肩関節角度が大きく保たれ、肘関節の屈曲がみられないという特徴的な着手姿勢が注目された。その後白石と山脇 (1989) が、従来のタイプと新しいタイプの後転とびの違いを、これも主として着手局面に注目し、運動形態学的に報告した。彼らは、新しいタイプの後転とびは従来のタイプに比べて着手局面において頸関節が前屈し、肩関節の屈曲が大きく、肘関節の屈曲がみられないといった形態上の特徴をもち、さらには助走としての機能上においてより優位性をもつと報告した。しかしながら新しいタイプの後転とびのもつ定量的な特性を明らかにした研究はなされていない。

ロンダートの着足から後転とびの踏み切りに至る局面に従来とは運動形態の異なる実施が出現したことに注目した佐藤 (1992) は、それについて運動形態学的に考察している。そのなかで取り上げられた新しい踏み切りの実施例はわずかに 1 例ではあるものの、ロンダートからの着足時にすでに次の踏み切り動作が始まっていることが指摘されている。残念ながら分析の対象数が少ないためにそれが技法なのか技術であるのかは明らかではなく、またそれが新しいタイプの後転とびとどのような関係にあるのかも定かではない。さらに新しいタイプの後転とびの踏み切り技術を明らかにすることは、後転とび、そしてロンダートの指導にとって非常に重要な意義をもつと思われる。新しいタイプの後転とびの特徴的な着手姿勢は当然その前局面である踏み切りの影響を受けていると考えられるので、着手姿勢のみに注目した指導は意味をなさないからである。新しいタイプの着手姿勢の有効性を論じることはもちろん重要ではあるが、その着手姿勢を生み出す踏み切り局面の運動技術を明らかにすることが必要であると考えられる。

第2節 後転とびのバイオメカニクス

1. 目的

ゆかにおける後転とびの第2着足局面以外の全運動経過にわたって、そのバイオメカニクスの特徴を明らかにし、後方宙返り系の運動の実施にとって有効な後転とびの特徴を探ることを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

被験者は、1991年全日本ジュニア体操競技選手権大会に参加した女子選手14名であった。

2) 撮影および分析

各被験者のゆか演技中の後転とびの実施を、ゆかの対角線に直行する方向から、計測用レンズ（Angenieux社製, Type 10×12）を装着したビデオカメラ（Sony社製, EVC-X10）により、毎秒60コマ、露出時間1/500秒で撮影した。撮影された後転とびはすべてロンダートから行われ、後方宙返り系の運動に至っていた。

撮影したビデオテープに1/1000秒のビデオタイマー（朋栄社製, VTG55）を挿入し、分析資料とした。これをパーソナルコンピュータ（富士通社製, FM-TOWNS）のディスプレイ上に映し、第1着足局面の3コマ前から、第2着足局面を経て後方宙返りの踏み切り後3コマまで、1コマごとに身体の10個の測定点をデジタル化して各測定点の2次元座標を得た。

得られた各身体測定点の2次元座標値より、阿江（1990）、阿江ら（1991）の身体部分係数を用いて身体の重心位置を算出した。この時点で各身体測定点と身体重心の座標値を、デジタルフィルタ（Winter, 1979）により遮断周波数10Hzで平滑化した。

3) 測定項目および測定法

上記の分析によって得られた座標値から、以下の項目を算出した。

- ① 身体重心の水平・垂直速度
- ② 肩関節、股関節、膝関節角度

肩関節角度は橈骨点と肩峰点を結ぶ線分が肩峰点と肋骨下端を結んだ線分となす角度、股

関節角度は肋骨下端と大転子を結んだ線分が大転子と頸骨点を結んだ線分となす角度、膝関節角度は大転子と頸骨点を結ぶ線分が頸骨点と顆点を結ぶ線分となす角度とした。

③身体重心まわりの角運動量

身体を 15 個のセグメントからなる剛体とみなし、阿江（1990）、阿江ら（1991）の身体部分係数を用いて、身体重心まわりの角運動量を次式により算出した（Dapena,1978、Hayら,1977）。

$$H = \sum_{i=1}^{15} [(I_i \cdot \omega_i) + (r_i \cdot m_i \cdot V_i)]$$

ここで、 H は身体重心まわりの角運動量、 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 は身体重心からセグメント i の部分重心への位置ベクトル、 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 の部分重心の速度ベクトルである。さらにこの値（ H ）を被験者の身長²と体重の積で除すことにより標準化（Hinrichsら,1983）した。

④身体の傾斜角度

第1着足局面と着手局面について、各局面中の身体の傾斜角度を算出した。身体の傾斜角度は、第1着足局面については身体重心と足先を結ぶ線分が足先を通る水平線となす角度、着手局面については身体重心と手指先を結ぶ線分が手指先を通る水平線となす角度とした。

4) データの処理

上記の方法で得られた速度、角度、角運動量について、各被験者の踏み切り時間をそれぞれ100%とし、10%ごとの値を3次のスプライン関数（玄と井田,1986）を用いて求めた。

身体重心の水平・垂直速度については、となりあう局面の初期値間の有意差検定を対の t 検定を用いて行った。また、身体重心まわりの角運動量は空間において保存されることから、第1着足局面と着手局面のそれぞれ初期値と最終値間の有意差検定を対の t 検定を用いて行った。

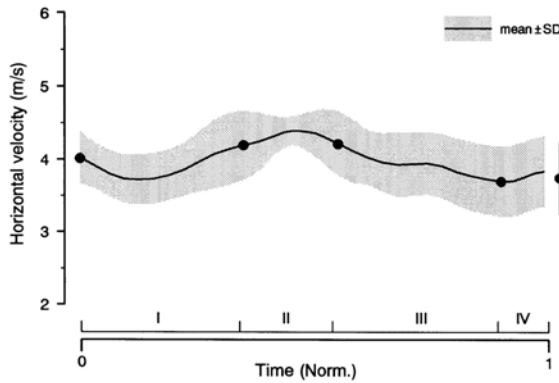


図 3.2.1 身体重心の水平速度の変化

I : foot support phase II : airborne phase
III : hand support phase IV : airborne phase

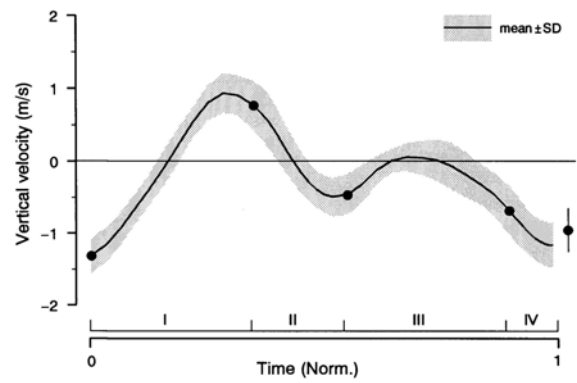


図 3.2.2 身体重心の鉛直速度の変化

I : foot support phase II : airborne phase
III : hand support phase IV : airborne phase

表 3.2.1 各局面の身体重心の水平・垂直方向の初速度

	第1着足 局面(I)	第1空間 局面(II)	着手局面 (III)	第2空間 局面(IV)	第2着足 局面
水平速度	4.02 ± 0.122	4.20 ± 0.227	4.22 ± 0.198	3.70 ± 0.229	3.74 ± 0.246
				**	
垂直速度	-1.32 ± 0.053	0.77 ± 0.111	-0.46 ± 0.076	-0.68 ± 0.117	-0.94 ± 0.092
	**		**		*

3. 結果

1) 身体重心の水平・垂直速度

ロンダートの着足から第2着足局面の着足までを100%とし、各局面を相対時間で表したときの身体重心の水平速度の変化を図3.2.1、鉛直速度の変化を図3.2.2に、また各局面の初速度を表3.2.1に示した。身体重心の水平速度は第1着足局面ではじめ減少し、その後増加して離足に至っていた。この第1着足局面の初期値と第1空中局面の初期値との間には有意な差は認められなかった。足がゆかを離れてから着手するまでの第1空中局面では水平速度はほぼ一定に保たれており、この局面の初期値と着手局面の初期値との間には有意な差は認められなかった。着手局面では水平速度は減少傾向を示し、この局面の初期値と離手後の第2空中局面の初期値との間には、有意差が認められた ($p < 0.01$)。その後、水平速度は第2

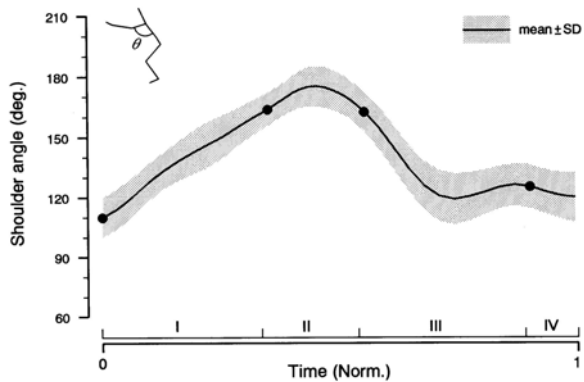


図 3.2.3 肩関節角度の変化

I : foot support phase II : airborne phase
III : hand support phase IV : airborne phase

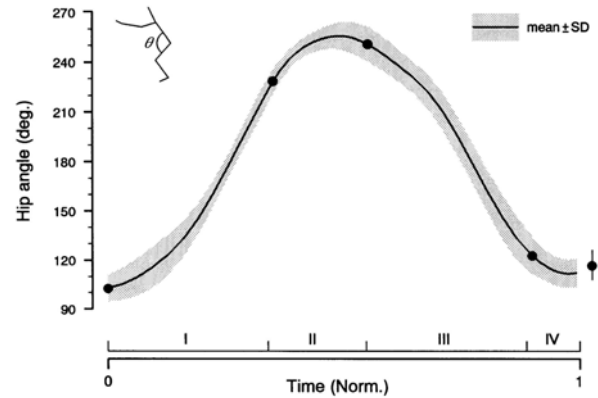


図 3.2.4 股関節角度の変化

I : foot support phase II : airborne phase
III : hand support phase IV : airborne phase

空中局面ではほぼ一定に保たれ、この局面の初期値と第2着足局面（後方宙返りへの踏み切り局面）の初期値とは有意な差は認められなかった。

身体重心の垂直速度はロンダートからの着足時には負の値であったが、第1着足局面中に増加して正の値を示し、やや減少した後離足に至っていた。この第1着足局面の初期値

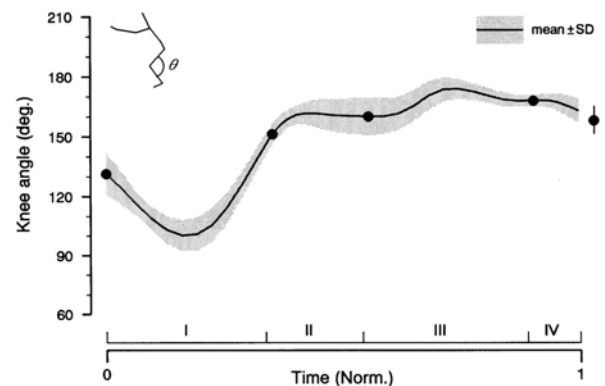


図 3.2.5 膝関節角度の変化

I : foot support phase II : airborne phase
III : hand support phase IV : airborne phase

と踏み切り後の第1空中局面の初期値との間には、統計的に有意差が認められた ($p < 0.01$)。

第1空中局面においては垂直速度は減少し、再び負の値となって着手に至っており、第1空中局面の初期値と着手局面の初期値の差は有意なものであった ($p < 0.01$)。着手局面においては、垂直速度は一度増加して正の値となるものの、再び減少し負の値を示して離手に至っており、結果的に着手局面の初期値と離手後の第2空中局面の初期値との間には有意な差は認められなかった。離手後の第2空中局面においては垂直速度は減少を続け、第2空中局面の初期値と第2着足局面の初期値との間には有意な差が認められた ($p < 0.05$)。

2) 身体各関節角度

ロンダートの着足から第2着足局面の着足までを100%とし、各局面を相対時間で表したときの肩関節角度の変化を図3.2.3に示した。肩関節角度はロンダートからの着足時には $110.1 \pm 9.83^\circ$ (平均 \pm SD) であったものが増加を続け、第1空中局面の途中で最大値 (175.3

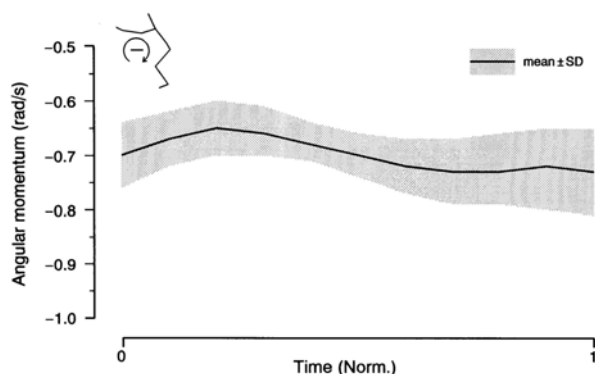


図 3.2.6 着足局面における身体重心まわりの角運動量の変化

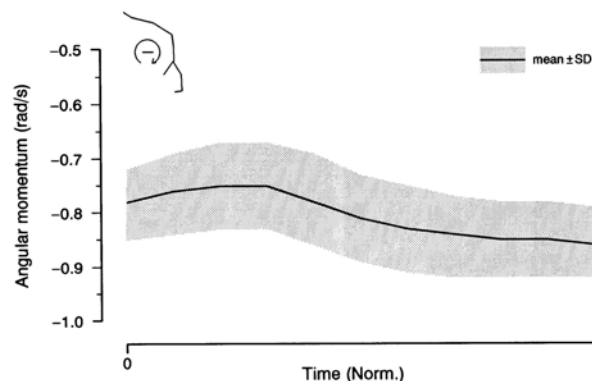


図 3.2.7 着手局面における身体重心まわりの角運動量の変化

表 3.2.2 第1着足局面と着手局面の身体重心まわりの角運動量の初期値と最終値

	第1着足局面(I) 初期値	第1着足局面(I) 最終値	着手局面(III) 初期値	着手局面(III) 最終値
身体重心 まわりの 角運動量	-0.70 ± 0.004	-0.73 ± 0.006	-0.78 ± 0.004	-0.86 ± 0.007
			**	

±9.86°) を示し、着手局面の途中まで減少していた。その後着手局面の中ごろから再び増加に転じ、後方宙返り系の運動の踏み切り局面である第2着足局面に至っていた。

図 3.2.4 は同様に股関節角度の変化を示したものである。股関節角度はロンダートからの着足時には 102.7 ± 7.90° であったものが増加し、第1空中局面の終盤に最大値 (255.8 ± 7.73°) を示した後、着手局面中に減少していた。離手から着足までの第2空中局面では大きな変化はみられず、第2着足局面に至っていた。

同様に膝関節角度の変化を示したものが図 3.2.5 である。膝関節角度はロンダートの着足時から、第1着足局面中一度減少し、最小値 (100.27 ± 7.89°) を示した後増加して離足に至っていた。第1空中局面でははじめやや増加するもののその後一定となり、着手局面では再び増加した後一定に保たれ、離手後の第2空中局面でやや減少して第2着足局面に至っていた。

3) 身体重心まわりの角運動量

第1着足局面と着手局面各々に要した時間を 100% として身体重心まわりの角運動量の変化を示したものがそれぞれ図 3.2.6、図 3.2.7 である。表 3.2.2 にはそれぞれの局面の初期

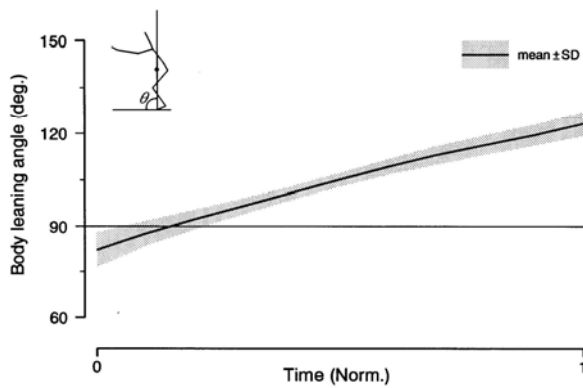


図 3.2.8 着足局面における身体の傾斜角度の変化

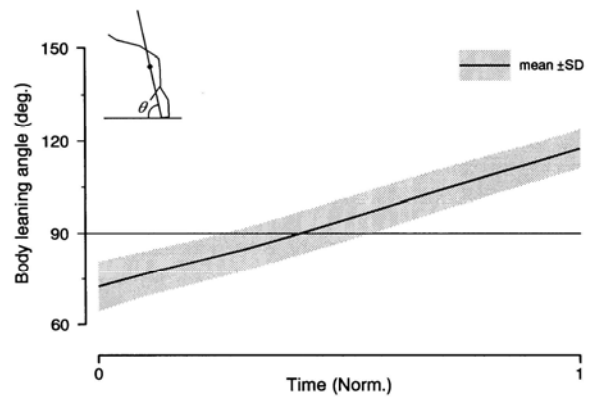


図 3.2.9 着手局面における身体の傾斜角度の変化

値と最終値を示した。角運動量は第1着足局面のはじめに負の値が減少し、その後負の値が増加して離足に至っていた。この局面の初期値と最終値の間には結果的に有意な差は認められなかった。着手局面においては、この局面の前半で負の値が減少するものの、その後負の値が増加して離手に至っていた。この局面の初期値と最終値の間には有意な差が認められた ($p < 0.01$)。

4) 身体の傾斜角度

第1着足局面と着手局面各々に要した時間を100%としたときの身体の傾斜角度の変化を示したものがそれぞれ図3.2.8、図3.2.9である。第1着足局面の着足時の身体傾斜角度は $82.5 \pm 5.10^\circ$ であり、その後増加して約20%時点で 90° に達し、離足直前では $123.3 \pm 3.84^\circ$ であった。着手局面の着手時の身体傾斜角度は $72.5 \pm 8.27^\circ$ であり、その後増加して、約40%時点で 90° に達し、離手直前では $117.3 \pm 6.16^\circ$ であった。

4. 考察

後方宙返り系の運動を行う際、どのような後転とびが有効であるのかを検討するために、本研究では後転とびのバイオメカニクス的な特徴を明らかにしようとした。本研究では実際の競技会における演技中の実施を分析の対象としたため、ここで明らかとなった後転とびの特徴はそのまま後方宙返り系の運動を行うために有効な後転とびの特徴を表しているとも考えられる。しかしながら、前述したように後転とびの運動形態には細かな点でいくつかのタイプがあり、それらを一括して扱った本研究の結果だけではより有効な後転とびの特徴をとらえきれず、あくまでもここで明らかとしたのは一般的な特徴であることはいうまでもない。

これまで後方宙返り系の運動を行う際に後転とびに要求されるものとして、水平速度の増大 (Bruggemann,1987、George,1976,1980、金子,1980,1982、栗原ら,1981、リシツカヤとザグラダ,1978、白石と山脇,1989、スモレフスキーとクーリス,1978、高岡ら,1990、吉田ら,1981)と角運動量の増大 (Bruggemann,1987、Hwang ら,1990、George, 1980、金子,1982、栗原ら,1981、スモレフスキーとクーリス,1978) とが指摘されている。これは、後転とびで大きな水平速度を得たうえで宙返りへの踏み切り時に発揮される力を加え、身体のもつ速度を適切な方向へと変換することによって、より大きな空間で後方宙返り系の運動が実施可能となるためであり、また大きな角運動量を得ることによって、より大きな姿勢で多くの回転数をもつ後方宙返り系の運動の実施が可能となるためである。ここでは後転とびに課せられた水平速度の増大と角運動量の増大といった観点から考察を加えて行きたい。

ロンダートからの着足から離足に至る第1着足局面では、前半に身体重心の水平速度がやや減少している。これは着足時の身体の傾斜角度が 90° 未満であることから、足の着地位置が身体重心の位置よりも後方にある前傾姿勢をとっているためと思われる。前傾姿勢で着足すると、後転とびの進行方向である後方と同じ向きの分力をもつ力がゆかに対して加えられるため、その反力によって水平速度が減少すると考えられるためである。このとき垂直速度は負の値であるが、これは着足の際の緩衝動作かつ次の踏み切りの準備動作の影響であると考えられ、それは膝関節角度がこの時点で減少していることからもうかがうことができる。第1着足局面の後半になると身体重心の水平速度は増加し、垂直速度は正の値となり、踏み切りが後ろ斜め上方になされていることが示されている。この踏み切りには、減少していた膝関節角度が増加していることから、膝関節の伸展が大きな役割を担っていることがうかがえる。肩関節角度、股関節角度はともに第1着足局面全体にわたって大きく増加しており、踏み切りの直前には肩関節が最大近くまで屈曲され、股関節もまた最大に近く伸展されていることがわかる。この間身体重心まわりの角運動量は、はじめ負の値が減少し、その後負の値が増加しており、結果的にはこの局面の初期値と最終値でほとんど差がなくなっている。角運動量が減少するのは身体の傾斜角度が 90° よりも小さい時点によく一致しているが、後方へ回転している身体が前傾姿勢で着足すれば、回転が抑えられることはここからも明らかである。こうした結果から、後転とびがもつ身体の水平速度と角運動量の増大という二つの役割に対して、この局面前半での水平速度の減少と角運動量の減少はマイナスの影響を与えているといえる。この問題を解決するには、ロンダートからの着足時に水平速度の減少をきたさず、後方への回転を抑制しないように、着足時に身体の傾斜角度を 90° 以上

にする、すなわち重心位置よりも前方に足を着地して後傾姿勢をとることが有効であり、その際には膝関節の屈曲を伴う着足の緩衝動作をできるだけ制限して着足と同時に踏み切りの力を前方に加えられるようにすることが重要であると考えられる。

踏み切り後の第1空中局面においては、身体重心の水平速度はほぼ一定に保たれているが、それに対して垂直速度は減少し、負の値を示す。これは空中で身体重心が放物線運動を行っていることを示しているものと考えられるが、この間身体は後方へ回転し、肩関節角度と股関節角度は増大して着手に備えている。ただし、着手に至る前に肩関節角度と股関節角度はすでに最大値を示して減少しはじめている。

続く着手局面では、身体重心の垂直速度はこの局面の前半で負から正へ、後半で正から負へと変化している。これは、着手直後には身体の運動の方向が下向きであり、着手後の突き放しによってそれが上向きに変わるが、手首を中心とした身体の回転の方向がこの局面後半には下向きに変わることによるものであると考えられる。この突き放しは肩関節の屈曲によるところが大きく、その時期は肩関節角度の減少の割合が停滞して増加に転じる着手局面の中ごろから後半に入ってからであることが、肩関節角度の変化より示唆される。身体重心の水平速度はこの局面で減少しており、この局面の初期値と最終値との間には統計的な有意差が認められた。ただし、肩関節角度の変化より突き放しの開始時期と考えられるこの局面の中ごろでは、減少はみられずむしろわずかに増加していることから、身体重心の水平速度の減少がみられるのは着手直後の突き放し開始前と、突き放しの後半であるこの局面後半であることが考えられる。着手直後の身体の傾斜角度は 90° 未満であることから、このときゆかに対しては身体の進行方向である後方と同じ向きの分力をもつ力が作用していると考えられ、着手直後の水平速度の減少はこの力の反力によるものと考えられる。身体重心まわりの角運動量については、この局面の最終値が初期値に比べて有意に負の値が大きいことから、後転とびのもつ一つの大きな役割としての角運動量の増大は、この着手局面でなされることが明らかとなった。ただし、この局面の開始直後には角運動量は減少しており、突き放しが開始されると考えられる時点から増加していた。この角運動量の減少はロンダートからの着足時と同様、着手直後の身体の傾斜角度が 90° 未満であるためと考えられる。着手局面前半における水平速度と角運動量の減少はこのように着手時の身体の傾斜角度が小さいために起こることが示唆されるが、着手開始時点に肩関節はすでに伸展をはじめており、もし第1空中局面で示された肩関節角度の最大値が着手と同時に示されるならば、身体の傾斜角度はより 90° に近くなるものと思われる。したがって、着手局面初期の身体重心の水平速度の低下を

防ぎ、身体重心まわりの角運動量の減少を抑えるには、肩関節角度が着手直後に最大になるように増大させて身体の傾斜角度を 90° 以上にすることが有効であると考えられる。さらにこの着手局面が後転とび全経過に占める時間の割合が非常に大きいことから、この局面初期と後半の水平速度の減少を抑えるには、着手の際の緩衝動作をなくして突き放しを着手直後に行うこと、突き放しをすばやく行って着手局面に要する時間を少なくすることも有効であると考えられる。

5. まとめ

ゆかにおける後転とびに関してバイオメカニクスの見地から分析を行い、以下の結論を得た。

- ・ ロンダートからの着足局面初期において、水平速度と角運動量の減少がみられた。これを防ぐためには後傾姿勢をとって着足し、踏み切りの力を着足直後に前方に発揮することが有効であると考えられた。

- ・ 後転とびに課せられた役割の一つである角運動量の増大は、着手局面後半においてなされることが明らかとなった。

- ・ 後転とびの着手局面初期ならびに後半において、水平速度の減少がみられた。また、着手局面前半において角運動量の減少がみられた。これを防ぐためには肩関節角度を着手と同時に最大にして身体の傾斜角度を大きくし、着手局面の占める時間を短くするように突き放しを行うことが有効であると考えられた。

第3節 異なる運動形態をもつ後転とびの比較分析

1. 目的

現在競技会で行われている後転とびを、従来のタイプと新しいタイプとに分類し、それぞれの定量的な特性を明らかにして比較することにより、新しい後転とびの有効性を検討することを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

被験者は、1991年全日本ジュニア体操競技選手権大会に参加した女子選手14名ならびに1991年中日カップ国際体操競技会に参加した女子選手6名、計20名であった。

2) 撮影および分析

全日本ジュニア選手権大会については各被験者のゆか演技中の後転とびの実施を、また中日カップ競技会については各被験者の会場練習中の後転とびの実施をゆかの対角線に直行する方向から、計測用レンズ（Angenieux社製, Type 10×12）を装着したビデオカメラ（Sony社製, EVC-X10）により、毎秒60コマ、露出時間1/500秒で撮影した。撮影された後転とびはすべてロンダートから行われ、後方宙返り系の運動に至っていた。

分析は第3章第2節2の2)と同様にして行った。

3) 測定項目および測定法

a) 後転とびのタイプの分類

こうして得られた20名の後転とびを、従来のタイプと新しいタイプとにわけると、白石と山脇（1989）が明らかにした特性をふまえて、映像による印象分析を行った。さらに、彼らの指摘する特性を考慮し、運動の形態に関する以下のような定量値を算出した（図3.3.1）。

- ① 離足時の頸関節の屈曲・伸展角度
- ② 着手時の手関節と身体重心を結んだ線分が水平線となす角度
- ③ 着手時の肩関節の屈曲・伸展角度
- ④ 着手時の手関節と肩峰を結んだ線分が水平線となす角度

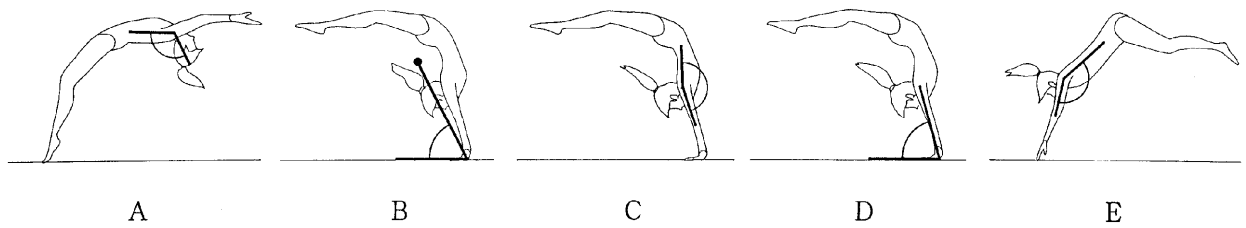


図 3.3.1 運動形態を表す定量値の定義

- A: 離足時の頸関節の屈曲・伸展角度
- B: 着手時の手関節と身体重心を結んだ線分が水平線となす角度
- C: 着手時の肩関節の屈曲・伸展角度
- D: 着手時の手関節と肩峰を結んだ線分が水平線となす角度
- E: 離手時の肩関節の屈曲・伸展角度

⑤ 離手時の肩関節の屈曲・伸展角度

このほかにも新しいタイプの後転とびでは着手時に腹屈頭位が見られることが指摘されているが、同じ程度の頸関節角度でも肩関節角度が大きければ腹屈とみなされたり、逆に肩角度が小さければ背屈ととれることが印象分析の結果指摘されたので、本研究ではその定量値は除外した。なお、彼らの指摘に従えば、これらの定量値はすべて、新しいタイプにおいて大きな値を示すことになる。

b) 両タイプの比較

次に、各被験者の身体重心の水平速度、身体重心まわりの角運動量を算出し、その変化の様子を各タイプごとに比較した。身体重心まわりの角運動量については、第3章第2節2の3)の③と同様にして行った。

4) データの処理

従来のタイプと新しいタイプの後転とびの分類には印象分析に加え、上記の定量値を用いて、ウォード法によるクラスター分析を行った。

速度、角度、角運動量について、各被験者の踏み切り時間をそれぞれ100%とし、10%ごとの値を3次のスプライン関数（玄と井田,1986）を用いて求めた。

身体重心の水平速度、身体重心まわりの角運動量とも、ロンダートからの着足局面と離足局面、着手局面と離手局面のそれぞれ初期値間の有意差検定を対の t 検定を用いて行った。

表 3.3.1 クラスター分析に用いた定量値と印象分析による被験者のタイプ分類

被験者	角度		角度		肘屈曲の有無	印象分析によるタイプ分類	
	A	B	C	D			
1	142.6	132.6	58.0	54.5	114.8	あり	従来のタイプ
2	134.2	141.9	69.7	63.7	134.7	あり	従来のタイプ
3	129.7	156.9	82.6	71.6	121.9	ややあり	従来のタイプ
4	125.8	168.9	81.2	68.4	120.7	あり	従来のタイプ
5	134.2	169.5	87.6	75.0	112.6	ややあり	どちらともいえない
6	129.0	181.1	87.4	72.0	111.9	あり	従来のタイプ
7	132.8	159.2	80.8	71.3	111.8	あり	従来のタイプ
8	138.8	160.7	79.5	67.2	119.6	あり	従来のタイプ
9	153.5	169.7	77.6	64.3	125.9	あり	従来のタイプ
10	149.5	169.0	82.7	71.3	137.4	なし	どちらともいえない
11	132.2	171.8	88.7	74.6	133.9	あり	どちらともいえない
12	163.5	162.6	82.7	75.2	128.4	あり	従来のタイプ
13	141.8	170.6	88.1	72.2	128.5	あり	従来のタイプ
14	161.2	163.2	83.0	73.7	127.1	ややあり	どちらともいえない
15	162.5	172.1	90.5	74.9	135.9	ややあり	どちらともいえない
16	151.6	159.7	82.6	74.1	123.3	あり	どちらともいえない
17	130.9	159.0	104.4	89.7	143.8	ややあり	どちらともいえない
18	142.0	165.0	91.2	80.9	146.9	ややあり	新しいタイプ
19	160.8	167.5	100.4	84.8	145.7	なし	新しいタイプ
20	170.7	180.0	108.6	84.9	159.2	なし	新しいタイプ

角度A～Eはそれぞれ図1の図中記号と対応している。
肘屈曲の有無は、印象分析時に確認した。

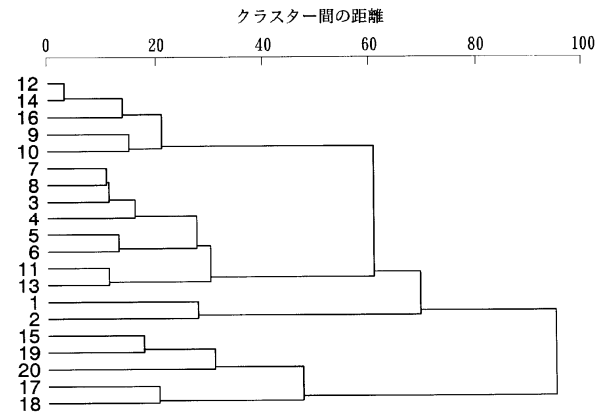


図 3.3.2 クラスター分析による樹状図

図中の数字は表2の被験者No.と対応している。

3. 結果

1) 後転とびのタイプの分類について

白石と山脇（1989）のあげた特性をふまえたうえでの、映像をもとにした印象分析による両タイプの分類と、算出した定量値を表 3.3.1 に、またクラスター分析の樹状図を図 3.3.2 に示した。

図 3.3.2 のように、定量値を用いたクラスター分析では 20 名の被験者は No.15,17,18,19,20 とそれ以外の 2 つのクラスターに分かれたが、それぞれのクラスターに含まれる被験者は印象分析によって 2 つのタイプに分けられた被験者とほぼ一致しており、したがって 20 例の後転とび中上記の 5 例が新しいタイプ、それ以外の 15 例が従来のタイプに分類された。

2) 両タイプの比較について

a) 身体重心の水平速度

身体重心の水平速度は、従来のタイプの後転とびではロンダートからの着足局面中有意に上昇し、着手局面中に有意に減少していた。さらに、後転とび全体としても水平速度は有意に減少していた（図 3.3.3 上）。

これに対して、新しいタイプの後転とびは全局面にわたって有意な速度の増加、もしくは減少はみられなかった（図 3.3.3 下）。

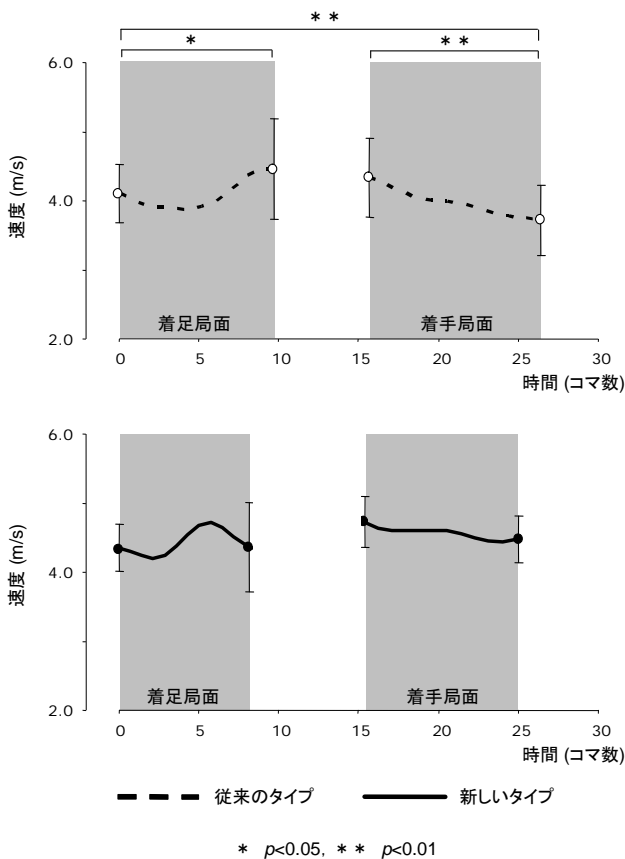


図 3.3.3 身体重心の水平速度の変化

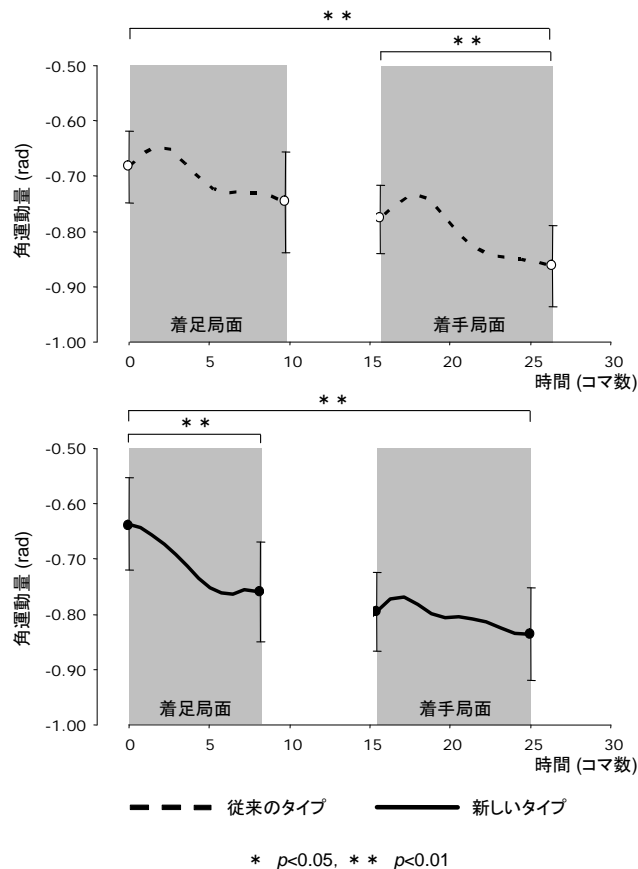


図 3.3.4 身体重心まわりの角運動量の変化

b) 身体重心まわりの角運動量

身体重心まわりの角運動量は、従来タイプの後転とびでは着手局面中にその負の値が有意に増加していた（図 3.3.4 上）。

これに対して、新しいタイプの後転とびはロンダートからの着足局面において負の値が有意に増加し、その後はほぼ一定に保たれていた（図 3.3.4 下）。

4. 考察

先にも述べたように、大きな空間を必要とする宙返りの実施にあたっては、宙返りへの踏切時において十分な大きさの水平・垂直速度が要求される。このうち宙返りの高さは踏切時の垂直方向の速度によって規定されるため、踏切時にはそれまでに身体のもつ水平速度を必要に応じて垂直方向へと変換することが重要であるとされている（Hwang ら,1990）。したがって、後転とびにはより大きな水平速度を得ることが要求される。

従来タイプの後転とびでは、身体重心の水平速度はロンダートからの着足局面では有意に増加しているものの、着手局面中に有意に減少しており、後転とびの全運動経過で減少し

ていた。着手局面において、また後転とび全体として身体重心の水平速度が減少するという結果は土屋と塚脇（1992）が後転とびの一般的な特性として明らかにしたことと一致していた。増加することが期待される身体重心の水平速度を減少させてしまっている従来のタイプの後転とびは、大きな空間を必要とする後方宙返り系の運動の実施にとって有効な運動であるとはいいがたいといえるだろう。

これに対して、新しいタイプの後転とびではどの局面においても水平速度の有意な減少はみられない。残念ながら、身体重心の水平速度を増加させるまでには至っていないが、維持しているという点で従来のタイプに比べて、後方宙返り系の運動の実施にとってより有効であると考えられる。

水平速度と同様に後転とびのもつ重要な運動課題が、身体重心まわりの角運動量を増加させることである。従来のタイプでみられた着手局面中の身体重心まわりの角運動量の増加は、土屋と塚脇（1992）が後転とびの一般的な特性として明らかにしたことと一致していた。したがって、そこで明らかにされた後転とびの一般的な定量的特性は、身体重心の水平速度の変化ともあわせて考えると従来のタイプの後転とびに関するものであったことが示唆される。従来のタイプの後転とびでは、着足、着手局面の前半で身体重心まわりの角運動量が減少し、両局面の後半でそれらを増加させていることが図よりうかがえる。着足局面の前半でもし角運動量の減少がなかったら、この局面においても角運動量は増加する可能性があり、また着手局面の前半で角運動量が減少しなければ、より大きな角運動量を得ることが可能となるかもしれない。したがって、身体重心まわりの角運動量の増加という点からみれば、従来のタイプの後転とびは効率が悪いといえるであろう。

これに対して新しいタイプの後転とびは、ロンダートからの着足局面で身体重心まわりの角運動量を増加させ、その後は一定に保つという特性をもっていた。着足局面での身体重心まわりの角運動量は、従来のタイプでみられたような、一度減少してから増加するといった効率の悪さはみられず、この局面全体にわたって増加していた。わずかに、着手局面の前半で身体重心まわりの角運動量の減少が認められるが、その程度も従来のタイプの後転とびに比べると非常に小さいものであった。したがって、身体重心まわりの角運動量の増加という観点からも、新しいタイプの後転とびの有効性が認められる。

また、ここで明らかとなったように、角運動量を増加させるという後転とびのもつ運動課題は、従来のタイプの後転とびでは着手局面において解決されていたのに対し、新しいタイプの後転とびではそれ以前のロンダートの着足から後転とびへの踏み切り局面においてすで

に解決されている。角運動量の増加や減少は、着手・着足局面といった、身体の一部がゆか面に接している状態での床反力の大きさとその方向によって決定される。従来のタイプの後転とびが、着手局面中に身体重心まわりの角運動量を増加させていたが、これはすなわち、腕によって身体を支持している着手局面中に、身体重心まわりの角運動量を増加させるような力をゆかに対して発揮していることを示している。これに対して新しいタイプの後転とびでは、脚によって身体を支持している間、すなわちロンダートからの着足局面中に角運動量を増加させる力をゆかに対して発揮していることになる。脚での接地時、すなわち着足局面中に身体重心まわりの角運動量を増加させるような力を発揮することは、脚が腕に比べてより大きな筋力を発揮することが可能であることを考えれば、より有利であると考えられる。実際、新しいタイプの後転とびが、男子選手よりも筋力の劣る女子選手によって行われ始めたのは、こうした理由によるものではないであろうか。また、着手局面をもたないテンポ宙返りからのほうが後方宙返り系の運動を実施しやすいとする指摘²¹⁾も、テンポ宙返りが新しいタイプの後転とびのように、宙返りに必要な角運動量を着手局面ですでに獲得していると考えれば納得できることであり、新しいタイプの後転とびでは、着手という運動はもはや従来のタイプの後転とびと異なり、それほど大きな意味をもたなくなっているとも考えられる。白石と山脇²¹⁾が指摘した、新しいタイプの後転とびが示す特徴的な着手姿勢は、水平速度と角運動量の維持にとって有効な姿勢であり、そこに至るまでの運動が従来のタイプとは異なるために結果的に導かれた姿勢であるともいえるのではないだろうか。

これまで考察してきた点からみて、新しいタイプの後転とびは従来のそれに比べて、より大きな空間と、より大きな姿勢で多くの回転数をもつ後方宙返り系の運動の実施にとって優位性をもつことが、定量的な見地から確認されたといつてよいであろう。

今後は、本研究で明らかとなった着足局面での角運動量の増加にとってどのような運動が有効であるのか、またそこで獲得された角運動量もしくは水平速度を維持するための着手技術、さらには身体重心の水平速度を増加させるための着足・着手技術を明らかにする必要があるだろう。

第4節 新しい運動形態をもつ後転とびの踏切技術

1. 目的

本研究は、新しい運動形態をもつ後転とびの踏み切り動作を定量的に明らかにし、後転とびの有効な踏み切り技術を検討することを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

被験者は、1991年全日本ジュニア体操競技選手権大会に参加した女子体操競技選手14名、同年中日カップ体操競技大会に出場した女子体操競技選手3名、計17名であった。

2) 撮影および分析

各被験者のゆか演技中の後転とびの実施を、ゆかの対角線に直行する方向から、ビデオカメラ（Sony社製,EVC-X10）により、毎秒60コマ、露出時間1/500秒で撮影した。撮影された後転とびはすべてロンダートから行われ、後方系の宙返りに至っていた。

分析は第3章第2節2の2)と同様にして行った。

3) 測定項目および測定法

こうして得られた17名の後転とびを、ビデオ観察による印象分析による分類を行った後、第3章第3節2の3)のa)で用いたものと同様の方法で従来のタイプと新しいタイプとに分類した。次に、各被験者の肩関節の伸展・屈曲角度、股関節の伸展・屈曲角度、膝関節の屈曲・伸展角度、さらに身体の傾斜角を図3.4.1の様に定義して算出した。なお、以降は各関節角度を便宜的にそれぞれ肩関節角度、股関節角度、膝関節角度と呼ぶことにする。さらに各被験者の身体重心まわりの角運動量を、腕部、体幹部、脚部ごとに算出し、その変化の様子を各タイプごとに比較した。身体重心まわりの角運動量の算出は、第2章第2節2の3)の③と同様に行った。

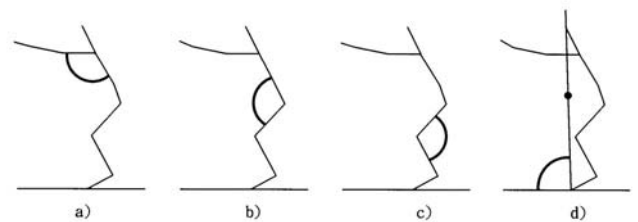


図 3.4.1 身体角度の定義
a) 肩関節角度 b) 股関節角度
c) 膝関節角度 d) 身体の傾斜角度

4) データの処理

上記の方法で得られた角度、角運動量について、各被験者の踏み切り時間をそれぞれ100%とし、10%ごとの値を3次のスプライン関数（玄と井田,1986）を用いて求めた。

こうして求められた各被験者の身体の各角度と角運動量について、各タイプごとの踏み切り局面の初期値と最終値の比較を対

応のある t 検定により、また踏切局面の初期値から20%時点ごとの同じ時点における各測定値のタイプ間比較を対応のない t 検定により行った。

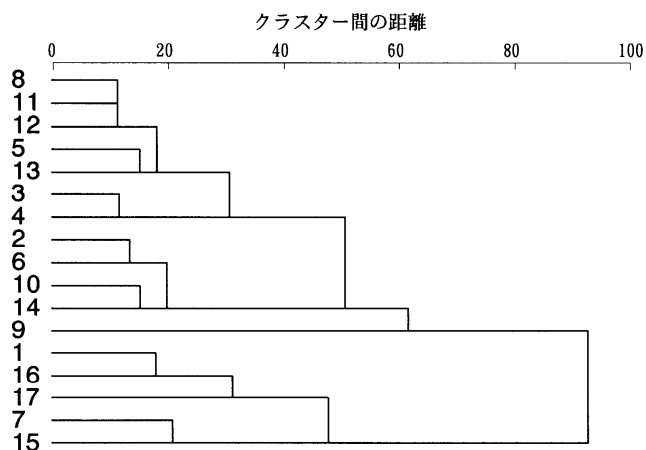


図 3.4.2 クラスタ分析による樹状図
図中の数字は被験者番号

3. 結果

1) 後転とびのタイプの分類について

定量値を用いたクラスタ分析では、17名の被験者は No.1,7,15,16,17 とそれ以外の2つのクラスタに分かれた。それぞれのクラスタに含まれる被験者は印象分析によって2つのタイプに分けられた被験者と一致していた。したがって17例の後転とび中上記の5例が新しいタイプ、それ以外の12例が従来タイプに分類された（図3.4.2）。

2) 各タイプの身体角度について

肩関節角度はどちらのタイプも踏み切り局面中一様に増加し、この局面の初期値と最終値の間に有意な差が認められた。またタイプ間には各時点で有意な差は認められなかった（図3.4.3-a）。

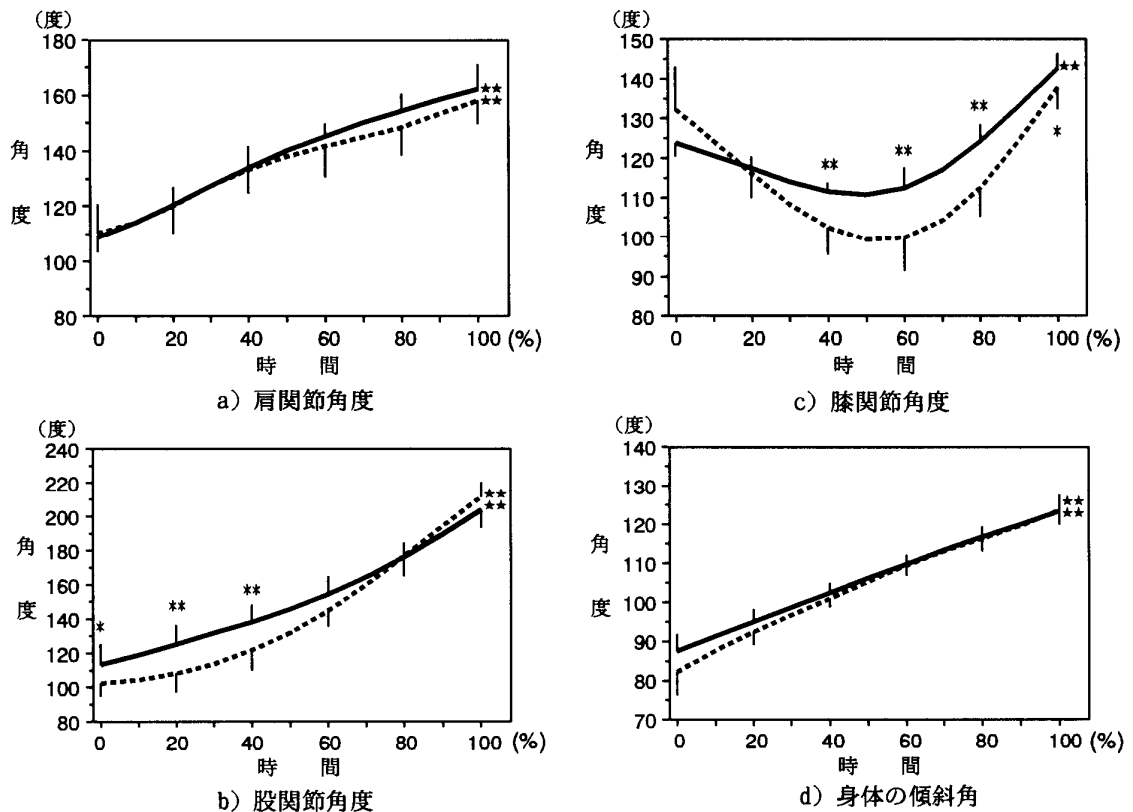


図 3.4.3 後転とびの踏切局面における従来のタイプと新しいタイプの身体角度の比較

——— 新しいタイプ ······· 従来のタイプ
 ★：各タイプの初期値と最終値との間に有意差あり(★:p<0.05, ★★:p<0.01)
 ：同じ時点でのタイプ間で有意差あり(:p<0.05, **:p<0.01)

股関節角度は、どちらのタイプも踏み切り局面中一様に増加し、この局面の初期値と最終値の間に有意な差が認められた。またタイプ間には、0、20、40%の各時点で有意な差が認められ、それぞれの時点で従来のタイプよりも新しいタイプが大きな値を示した(図 3.4.3-b)。

膝関節角度は、どちらのタイプも着足から徐々に減少し、50%時点頃から再び増加していた。しかしながら、従来のタイプは減少、増加の幅が大きく、さらに踏み切り局面の初期値と最終値の間に有意な差は認められなかった。これに対し、新しいタイプでは従来のタイプに対して前半の減少がわずかであり、踏み切り局面の初期値に比べて最終値が有意に大きかった。またタイプ間には、40、60、80、100%の各時点で有意な差が認められ、それぞれの時点で従来のタイプよりも新しいタイプが大きな値を示した(図 3.4.3-c)。

身体の傾斜角は従来のタイプ、新しいタイプとも、踏み切り局面中一様に増加し、この局面の初期値と最終値の間に有意な差が認められた。またタイプ間には各時点で有意な差は認められなかった(図 3.4.3-d)。

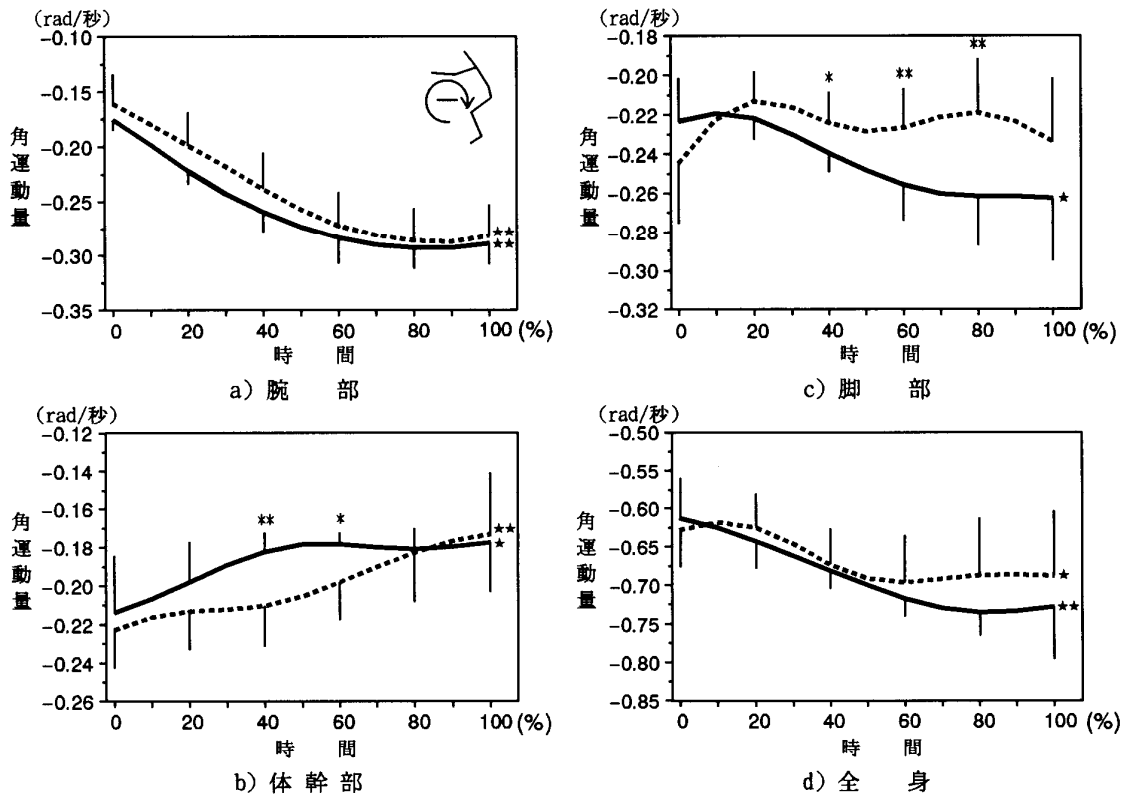


図 3.4.4 後転とびの踏切局面における従来タイプと新しいタイプの身体重心まわりの角運動量の比較

—— 新しいタイプ - - - - - 従来タイプ

★：各タイプの初期値と最終値との間に有意差あり(★:p<0.05, ★★:p<0.01)

：同じ時点でのタイプ間で有意差あり(:p<0.05, **:p<0.01)

3) 身体重心まわりの角運動量について

腕部の角運動量は、どちらのタイプも踏み切り局面中一様に負の値が増加し、この局面の初期値と最終値の間に有意な差が認められた。またタイプ間には各時点で有意な差は認められなかった (図 3.4.4-a)。

体幹部の角運動量は、従来タイプでは踏み切り局面全体でほぼ一様に負の値が減少していたのに対し、新しいタイプでは前半で負の値が減少し、その後はほぼ一定に保たれていた。どちらのタイプも踏み切り局面の初期値と最終値の間に有意な差が認められた。またタイプ間には、40%、60%時点で有意な差が認められ、それぞれの時点で従来タイプよりも新しいタイプの方が負の値が小さかった (図 3.4.4-b)。

脚部の角運動量は、従来タイプがやや変動はあるものの踏み切り局面の初期値と最終値で有意な差がみられなかったのに対して、新しいタイプでは10%時点から一様に負の値が増加し、初期値と最終値で有意な差がみられた。タイプ間では40%、60%、80%の各時点で有意な差が認められ、どの時点も新しいタイプが従来タイプに比べて大きな負の値を示した(図 3.4.4-c)。

腕部、体幹部、脚部の角運動量の総和である身体重心まわりの全身の総角運動量は、従来のタイプではじめやや停滞がみられ、その後負の値が増加し、60%時点頃からほぼ一定となっていた。これに対し、新しいタイプでは0%時点から80%時点まで一様に負の値が増加し、その後ほぼ一定に保たれていた。どちらのタイプも踏み切り局面の初期値と最終値の間に有意な差が認められた。またタイプ間には各時点で有意な差は認められなかった(図 3.4.4-d)。

さらに、どちらのタイプも踏み切り局面で全身の総角運動量は増加しているが、それは腕部の角運動量が最も大きく貢献していることが明らかとなった(図 3.4.5)。

4. 考察

1) 各タイプの身体角度について

以上の結果から、従来のタイプが、ロンダートからの着足から膝関節を大きく屈曲させて着地の際の衝撃を緩和する動作を行い、その後膝関節を伸展させて踏み切り動作を行っているのに対し、新しいタイプでは着地の緩衝動作があまりなく、着地と同時に踏み切り動作に移行していることがうかがえる。従来のタイプの股関節角度がこの局面前半で新しいタイプに比べて小さいことも、これを裏付けているといえる。これは佐藤(1992)が、旧ソビエト選手の後転とびを観察し、「(ロンダートからの)着地後は、腰を沈めて体重が後ろにかかってくるのを待つのではなく、着地以前から始められた蹴りを強力に行う」(括弧内筆者)と指摘した点を裏付ける結果となっている。こうした踏み切り動作は、ロンダートまでに得られた水平速度を減少させることなく後転とびへと伝えることが可能であると考えられる。なぜなら、膝関節を大きく屈曲させることは、後ろ下方への身体の運動に対する緩衝動作であり、結果的に水平速度の低下が起これると考えられるためである。着地の緩衝動作がなく、着地と同時に後方への踏み切り動作がなされれば、水平速度が低下せず、むしろ増加が期待できる

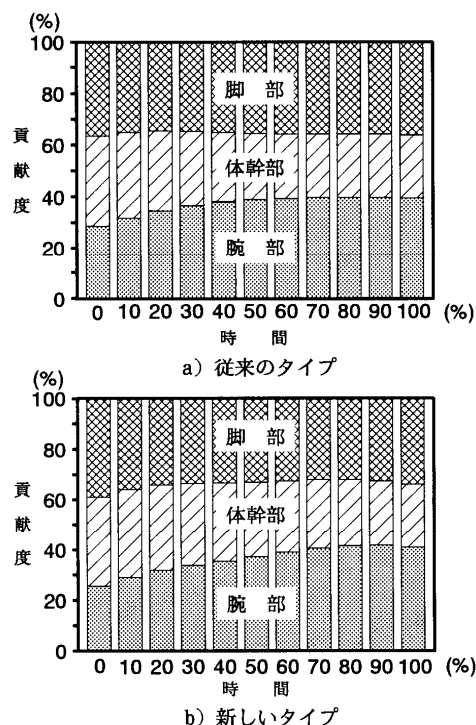


図 3.4.5 身体重心まわりの角運動量に対する身体各部の貢献度

と思われる。

2) 身体重心まわりの角運動量について

こうした結果から、肩関節の屈曲動作による腕部の回転が後転とびの踏み切り局面における角運動量増大にとって重要な動作であることが示唆された。角運動量は空間では保存されることから、ロンダートからの着足時の肩関節は、大きく屈曲した状態であるよりも、短時間の踏み切り局面において角運動量を増大させることができる程度に、できるだけ伸展させておくことが望ましいと思われる。すなわちロンダートからの着足時には肩関節角度を小さくしておき、踏み切り局面中に大きく増大させる肩関節の屈曲動作が角運動量増大にとって有効であると考えられる。

また、脚部の角運動量が踏み切り局面中従来のタイプで変化がなかったのに対し、新しいタイプで一様に増加していた。これは、着地の緩衝動作のあらわれである膝関節屈曲の有無の差であると思われる。従来のタイプでは、膝関節を屈曲させることによって、全体としての身体の回転に対して下腿の回転はそれに逆らう方向となり、これが脚部の角運動量の増大がみられない原因となったと考えることができる。ここでもまた、股関節と膝関節の屈曲による着地の緩衝動作が角運動量増大の効率を低下させていることが指摘できる。ところが新しいタイプでは膝関節の屈曲はあまりみられず、これが角運動量増大に有効に作用していると思われる。したがって、ロンダートからの着地からできるだけ早い時期に膝関節の伸展による踏み切り動作を行うことが、角運動量増大という観点からも重要であると考えられる。

5. まとめ

本研究の目的は、新しい運動形態をもつ後転とびの踏み切り技術を明らかにし、後転とびの有効な踏み切り技術を検討することであった。

新しいタイプと従来のタイプの後転とびを定量的に比較考察した結果、以下の結論を得た。

- ・新しいタイプの後転とびは、従来のタイプにみられたような膝関節の屈曲による着地の緩衝動作がみられず、ロンダートからの着地から早い時点で踏み切り動作に移行していた。このことは、水平速度の増大と角運動量の増大にとって有効であると考えられた。

- ・角運動量の増大は腕の貢献度が大きかった。したがって、ロンダートからの着足時には肩関節角度を小さくしておき、踏み切り局面中に大きく増大させる肩関節の屈曲動作が角運動量増大にとって有効であると考えられた。

第4章 段違い平行棒における後方車輪のバイオメカニクス

第1節 段違い平行棒における後方車輪

段違い平行棒は、女子体操競技を構成する4器械種目のうちの1つで、高さの異なる2本の水平な棒とそれを支える支柱、ワイヤーなどからなる。この種目の演技には、1977年に当時のソ連代表であったN. シャポシュニコワ選手が後方車輪を実施して以来、多くの選手によって高棒での後方車輪が取り入れられ、現在では車輪系の技が演技構成において中心的な役割を占めるようになった。ただし、発表から10年ほどの間、段違い平行棒の後方車輪は低棒の存在が妨げとなって倒立からの振り下ろし時に円に近い振動ではなく落下に近い軌跡を通るため、再び倒立へと上昇しにくく、男子の鉄棒における後方車輪とは異なる技術が必要であるとされた(赤羽,1984、塚原と塚原,1982)。鉄棒の後方車輪に比べて複雑な運動技術を要求される段違い平行棒の後方車輪は、発表当初から高難度の技として位置づけられ、それだけが単独で行われることが多かった。ところが1980年代後半、高棒と低棒の間隔が大きく広がったことで、より単純ともいえる男子鉄棒の技術をそのまま移植することが可能となった。当然のことながら、後方車輪の技術が明らかになり、それが浸透して実施する選手が増加すれば、採点規則の改正によって技の難度は下がることになる。事実、1989年版採点規則(FIG,1989)(最高難度はC)では段違い平行棒の後方車輪はC難度とされていたが、1993年版採点規則(FIG,1993)(最高難度はD)ではB難度に格下げされた。そのため現在のトップレベルの競技会では、後方車輪は単独で行われることはほとんどなくなっている。しかしながら、後方車輪は、それにひねりが加えられたり、後方宙返り系の手を放して再び持つ技や、終末技を実施する際の予備運動として頻繁に行われている。

ところで、現在段違い平行棒の終末技は、前方と後方の宙返り系技が主流となっている。このうち後方宙返り系の終末技は、もはや抱え込みや屈身姿勢ではなく、伸身姿勢での2回宙返り下りが一般的な技として行われはじめており、さらにはそこへのひねりの融合も既に成功している。こうした大きな姿勢での2回宙返りの実施には、それに必要な空間の大きさと回転の速度が必要とされることは言うまでもない。宙返りが行われる空間の大きさは、後方車輪から宙返りへの離手時の身体重心の位置と速度によって、また回転速度は同じく離手時の身体重心まわりの角運動量によって決定される。したがって、後方宙返り系の技への離

手時までに対応の速度と角運動量を得ることが、その予備運動として行われる後方車輪に要求されることになる。離手時の身体重心の速度と身体重心まわりの角運動量は、後方車輪の回転速度によって決定されると考えられるので、後方車輪の回転速度を大きくすることができれば、より高さがあり、大きな姿勢で、多くの回転数をもつ宙返りを実施できる可能性が高まることになる。

これまでに日本国内に限っても、鉄棒や段違い平行棒における後方車輪を数多くの研究(阿部,1992、赤羽,1984、加納と竹本,1987、川口,1991、Okamotoら,1989、杉田,1984、矢部ら,1987、矢部ら,1988、山下,1984)や指導書(阿部,1992、金子,1970、金子,1979、金子,1985、ガベルドフスキー,1978、加藤と監物,1982、竹本,1980、塚原と塚原,1982、塚脇,1980)が取り上げているにもかかわらず、後方車輪の速度を増加させるためにはどのような身体動作が要求されるのかについて検討した研究は、国内外ともにほとんどない。わずかに旧ソ連の指導書(ガベルドフスキー,1978)の中に、鉄棒における後方車輪を加速する方法について述べられている部分があり、そこで強調されているのは、上昇時の「肩の引き付け」、「肩の屈げ」と表現された、肩関節の伸展である。この動作は鉄棒における後方車輪の運動課題を解決する上で重要な動作であることが、運動力学的研究(Okamotoら,1989、矢部ら,1987、矢部ら,1988)によっても明らかにされている。しかしながら、段違い平行棒における後方車輪実施中の身体に関する運動力学的な研究はなく、もちろん段違い平行棒における後方車輪の回転速度を増加させるための方法について検討した研究はない。

第2節 段違い平行棒における後方車輪の成否と関節で発揮されるパワー

1. 目的

本研究では、高棒と低棒を有する段違い平行棒において、高棒を順手で握り、それを中心として倒立から倒立へと 360° 後方へ回転することを運動課題とする後方車輪について、その運動課題の達成に関節で発揮されるパワーが及ぼす影響を検討することで、この運動課題を達成するための効果的な技術・体力トレーニングのあり方を探ることを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

段違い平行棒における後方車輪の習得過程にある大学女子体操選手 1 名（身長 150cm、体重 50Kg）を被験者とした。

2) 撮影および分析

被験者に段違い平行棒における後方車輪を実施させ、高棒の側方に設置したビデオカメラにより、60 フィールド/秒、シャッタースピード 1/500 秒で撮影した。実験中、後方車輪の運動課題を達成できた 3 回、運動課題を達成できなかった 3 回をそれぞれ撮影した。

撮影されたビデオ画像をコンピュータの画面上にスーパーインポーズし、1 フィールドごとに身体の 9 個の計測点をデジタル化し、その 2 次元座標値を求めた。

この 2 次元座標値をもとに身体を 8 つのセグメントからなるリンクモデルに置き換え、阿江ら（1991）の身体部分係数を用いて各セグメントの部分重心と全身の重心の位置を算出した。この時点ですべての 2 次元座標値を、デジタルフィルタ（Winter,1990）により cut off 周波数 3.75Hz で平滑化した。

3) 測定項目および測定法

この座標値より、図 4.2.1 のように定義した股関節と肩関節の屈曲・伸展角度、各部分重心の加速度を算出した。次に、

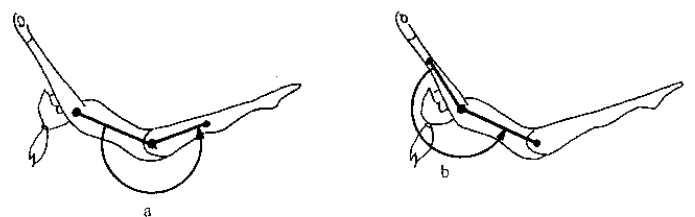


図 4.2.1 関節角度の定義

a: hip joint angle
b: shoulder joint angle

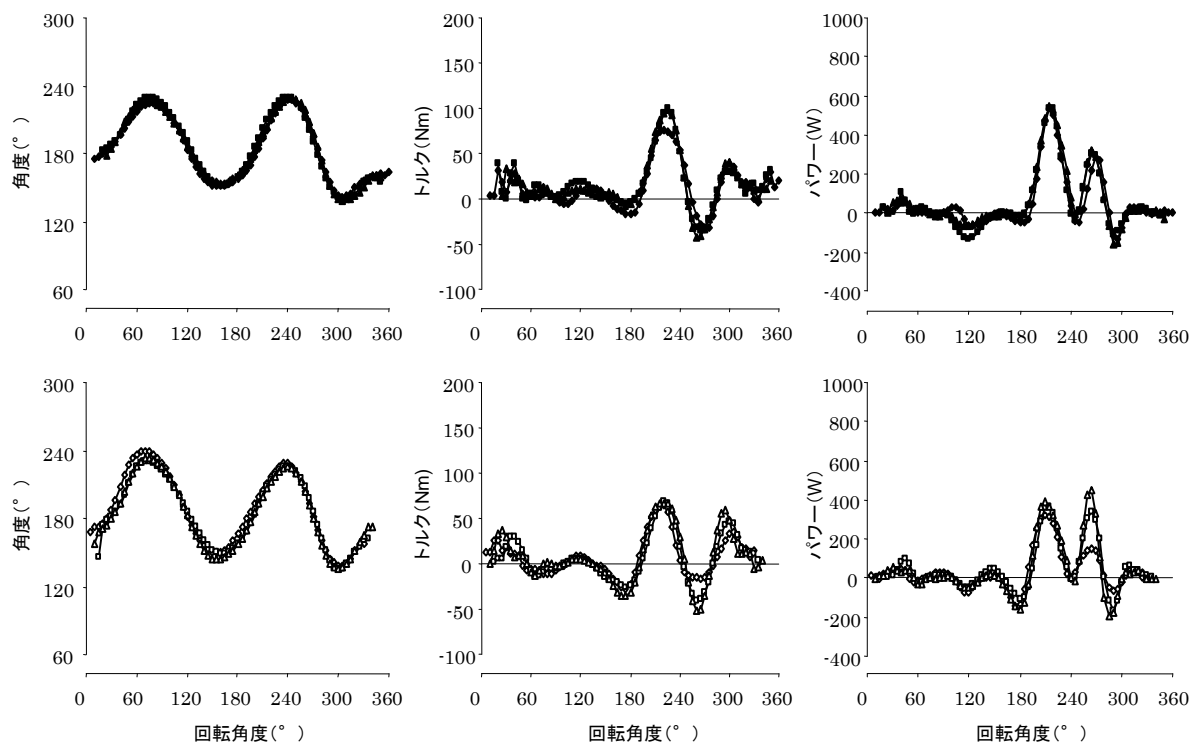


図 4.2.2 股関節の角度、トルク、パワー
 上段：運動課題を解決した実施
 下段：運動課題を解決できなかった実施

Winter (1990) の方法に従い、各セグメントについて運動方程式を立てて遠位節から解くことによって、股関節と肩関節で発揮されるトルクを求めた。さらにこのトルクに関節の屈曲伸展の角速度を乗じることで、関節で発揮されるパワーを求めた。求められたトルクとパワーは、運動課題を達成できた場合と達成できなかった場合を比較するために、3 次のスプライン関数 (玄と井田,1986) によって補間し、身体重心が高棒を中心として回転する角度 (以後回転角度) 5° ごとの値を求めた。なお本研究では、トルクと角速度について、股関節では屈曲方向、肩関節では伸展方向を正とした (ともに図 4.2.1 で反時計回りが正)。

3. 結果

図 4.2.2 に、運動課題を達成できた実施とできなかった実施それぞれの、股関節角度、股関節回りのトルクおよび股関節で発揮されたパワーの変化を示した。

股関節角度は、運動課題を達成できた実施とできなかった実施で共通した変化を示した。まず倒立からの振り下ろしから股関節角度が約 230° まで、股関節は屈曲される。この股関節の屈曲は、足先が低バーを越える以前 (回転角度が 70° 前後) から伸展に変わり、この股関節の伸展は回転角度が約 150° 、関節角度が約 150° になるまで見られる。その後、回転

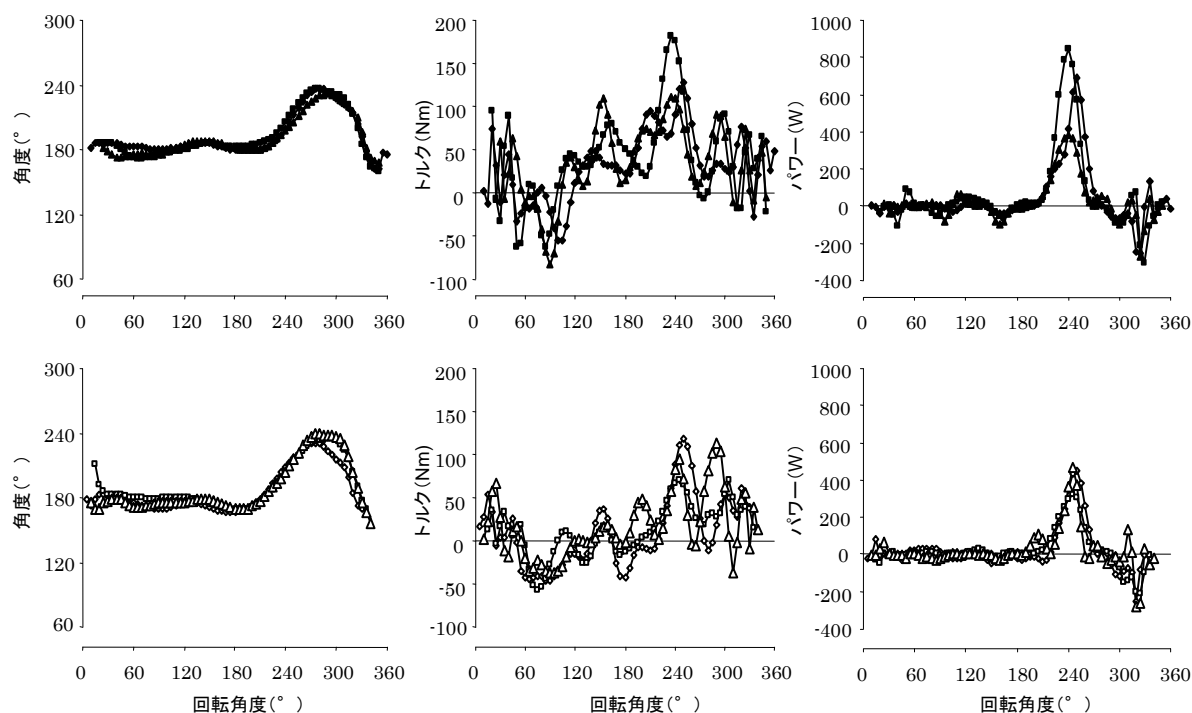


図 4.2.3 肩関節の角度、トルク、パワー

上段：運動課題を解決した実施

下段：運動課題を解決できなかった実施

角度が約 240° の時点に関節角度が約 230° を示すまで再び屈曲される。その後また伸展され、回転角度約 300° 時点に最も小さな関節角度を示し、最終的には関節角度は 155.7° ～ 172.1° の間の値を示した。

股関節に作用したトルクは、回転角度約 180° ～ 240° 時点では正の値、同じく 240° ～ 280° 時点では負の値となっていた。また、運動課題を達成できなかった実施では、回転角度 180° 前後で一度大きく負の値を示したが、これは運動課題を達成できた実施では 1 例でみられたのみで、しかもその値は小さかった。

股関節で発揮されたパワーは、運動課題を達成できた実施、できなかった実施ともに、回転角度約 180° 時点（身体重心がバーの鉛直真下を通過する時点）から回転角度 270° 時点の間に 2 つの大きなピークを示す特徴が共通して見られた。ただし、その大きさをみると、運動課題を達成できた実施は、できなかった実施と比較して、最初のピークの値がより大きい値を示した。すなわち、運動課題を達成できた 3 回の実施では、ピーク値は、 534.6W 、 537.4W 、 523.8W であったのに対し、できなかった 3 回の実施では、 310.8W 、 366.7W 、 393.0W であった。また、運動課題を達成できなかった実施では、トルクと同様に回転角度 180° 前後で一度大きく負の値を示した。

図 4.2.3 に、運動課題を達成できた実施とできなかった実施それぞれの、肩関節角度、肩

関節回りのトルクおよび肩関節で発揮されたパワーの変化を示した。

肩関節角度は、回転のはじめから約 180° のまま維持されるが、運動課題を達成できなかった実施では 180° を越えた時点から、また運動課題を達成できた実施ではそれよりやや遅れた時点から急激に増加しており、肩関節が伸展されたことを示している。その後肩関節角度は回転角度 270° ～300° 時点でピークを示し、減少していた。

肩関節回りに作用したトルクには各実施間で非常にばらつきが大きく、運動課題を達成できた実施、できなかった実施それぞれの特徴を明確にすることは困難であるが、運動課題を達成できた実施ではできなかった実施に比べ、やや大きな正の値を示していた。

肩関節で発揮されたパワーをみると、どちらの実施も回転角度約 210° 時点までほぼ 0 のまま維持され、その後増加して回転角度 240° 時点でピークをむかえ、減少していた。そのピーク値には、特に運動課題を達成できた実施内でばらつきがみられた。

4. 考察

段違い平行棒における後方車輪は、1993 年版体操競技採点規則 (FIG,1993) では B 難度に位置付けられている。この技はそれ自体が演技の中に組み込まれることも多いが、矢状軸の回転であるひねりを加えたり、あるいは宙返り系の運動へとつなげられるなど、より高い難度の技を行うための基本的な運動であり、現在の女子体操競技では必ず習得すべき技となっている。同じことが男子鉄棒における後方車輪にもあてはまり、両者の間には非常に類似した運動経過がみられ、共通した技術トレーニングが行われている。しかしながら、鉄棒における後方車輪が振り子運動に置換えられて説明されるのは異なり、段違い平行棒における後方車輪は力学的にみて回転しにくい特性をもっている。

段違い平行棒における後方車輪の実施の際には、器具の特性から、身体は倒立からの振り下ろし局面において高棒と低棒間を通過しなければならない。そのために股関節を屈曲するなどして回転半径を小さくするが、足先が低棒を通過後、回転半径は増大する。その結果、振り下ろし局面では身体重心は振り子運動が示すような円ではなく、上下方向に膨らんだ楕円に似た軌跡を示すことになる。これがその後の身体の上昇を困難にしており、鉄棒の後方車輪とは異なる技術トレーニングや体力トレーニングも必要とされる所以となる。本研究では、この段違い平行棒における後方車輪を運動課題とし、関節で発揮されるパワーが運動課題の達成に及ぼす影響を検討し、効果的な技術トレーニングと体力トレーニングのあり方を探ろうとした。

先にも述べたように、本研究においては、股関節を屈曲させる方向に働くトルクを正とし、股関節の屈曲伸展の角速度は屈曲方向を正にとっているため、股関節で発揮されるパワーの1つ目のピークは股関節屈曲の、2つ目のピークは股関節伸展のパワーとすることができる。このうち、回転角度 180~240° にかけてみられたパワーをもたらした股関節の屈曲動作は、体操競技で「あふり」といわれる動作であり、後方車輪という運動課題の達成に重要な役割を示すことがこれまでよく指摘されてきた（金子,1970、ガベルドフスキー,1978、矢部ら,1987）。矢部ら（1987）は、鉄棒における後方車輪について、この「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によって発揮されるパワーが、空気抵抗や摩擦抵抗によって引き起こされる車輪回転のためのエネルギー損失を補う役割を担っていることを指摘している。器具の違いはあるものの、段違い平行棒における後方車輪においてもこの股関節の屈曲と肩関節の伸展によるパワー発揮が重要な役割を果たすと思われる。

そうした意味で、本研究において運動課題を達成できた実施とできなかった実施の間で差がみられた回転角度 180° ~240° 時点の股関節屈曲のパワーの大きさが運動課題の達成に影響を与えており、この値を大きくすること、あるいはその発揮時間を長くすることが運動課題の達成には必要であることが示唆される。また、運動課題を達成できなかった実施において、回転角度 180° 前後で負のパワーとトルクが認められた。これは股関節の屈曲動作が始まっても、股関節回りには股関節を伸展させようとするトルクが働いていることを示している。こうした特徴は運動課題を達成できた実施にはみられないもので、本研究ではその原因まで明らかにすることはできないが、おそらく足先が低棒を通過する局面以降において、股関節の伸展が遅れたために重力の作用によって股関節伸展の力が加わったためと思われる。股関節屈曲のパワー発揮が後方車輪の運動課題達成にとって重要であることからすれば、それに先立って股関節伸展のパワーが発揮されてしまうと、運動課題達成のためのパワー発揮のロスが生じてしまうともいえるだろう。

ところで男子の鉄棒における後方車輪に関して関節で発揮されるパワーを検討した研究（矢部ら,1987、矢部ら,1988）では、本研究の段違い平行棒における後方車輪でみられたような、股関節で発揮されるパワーに二つのピークがみられることは報告されていない。鉄棒の後方車輪において指摘されたように、回転のためのエネルギー損失を補う役割を股関節屈曲のパワーが担っているならば、本研究でみられた二つ目のピークである股関節伸展のパワーはそれを打消すものと考えられる。事実、段違い平行棒における後方車輪では、特に初心者や技能レベルの低い選手において、回転の後半の上昇局面で股関節が伸展し、いわゆる身

体を反らせた姿勢となって回転速度が小さくなる実施がよく見うけられる。こうした実施は、股関節の屈曲動作によって発揮されたパワーがその後の股関節伸展動作によって相殺されてしまい、回転のためのエネルギー獲得がうまく行われなことが原因となっていると考えられる。この股関節伸展のパワーが運動に習熟してゆく過程でもみられるものかは今後の研究によって明らかにされるべき課題といえるだろう。

さらに、本研究で運動課題を達成できなかった実施のなかで2つ目のピークが比較的小さい実施がみられたが、運動課題を達成できなかった実施はいずれも最初の股関節屈曲のパワーが運動課題を達成できた実施に比べて小さいことから、運動課題達成に必要な股関節屈曲パワーの大きさも明らかにされるべきである。本研究の結果からだけいえば、運動課題を達成できた実施では、534.6W、537.5W、541.1W と、いずれも 500W を越す股関節屈曲パワーが見られ、運動課題を達成できなかった実施では 324.7W、366.0W、393.0W と 400W に満たない値であった。

肩関節で発揮されたパワーは、運動課題を達成できた実施、できなかった実施共に回転角度が 240° 前後でピークを迎えており、このパワーは関節の角速度と関節回りのトルクの方から、肩関節伸展のパワーであることが示された。矢部ら（1987）が鉄棒における後方車輪について報告したことと同様に、段違い平行棒における後方車輪においてもこの肩関節伸展のパワーが運動課題達成に重要な役割を果たしていることが示唆される。しかしながら、本研究では、運動課題を達成できた実施内でもその大きさにはばらつきが見られ、この肩関節伸展パワーの大小が運動課題の達成に及ぼす影響は不明であった。

本研究の結果からは、段違い平行棒における後方車輪の運動課題達成のためには、体操競技の指導現場で「あふり」といわれる回転後半の股関節の屈曲による大きなパワーの発揮が重要な役割を果たし、それに引き続く股関節伸展による発揮パワーをできるだけ小さく抑えることも必要であることが示された。これは、1例の実施から導かれた結論ではあるが、先にも述べたように初心者や技術レベルの低い者が「あふり」の際の股関節屈曲パワーの大きさの不足、その後の股関節伸展による回転速度の減少という共通した欠点を見せることからすれば、一般妥当性を有するものであると考えられる。

体操競技のための体力トレーニングとして頻繁に行われる股関節屈曲のトレーニングの有効性が示されたと同時に、技術的な観点からは、すばやい股関節の屈曲を強調し、股関節伸展をできるだけ抑えるようなトレーニングがなされるべきであることが示唆された。

第3節 段違い平行棒における後方車輪の回転速度と関節でなされる力学的仕事との関係

1. 目的

段違い平行棒における後方車輪の実施中に、股関節、肩関節で発揮されるパワーの動態と、関節でなされる力学的仕事の大きさを明らかにし、後方車輪の速度を増加させるためにはどのような身体動作が要求されるのかを運動力学的な側面から検討することを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

1995年世界体操競技選手権鯖江大会女子団体自由競技に出場し、身長と体重が明確な26名の選手を被験者とした。

2) 撮影と分析

本研究では、1995年世界体操競技選手権鯖江大会女子団体自由競技における段違い平行棒のすべての演技を撮影したビデオテープを分析に使用した。このビデオテープは、段違い平行棒の高棒真横に設置したビデオカメラにより、競技会中の演技を、60フィールド/秒、シャッター速度1/250秒で撮影したものであった。

撮影された映像をパーソナルコンピュータ（富士通社製 FMV-DESK POWER SP）の画面上に映し、後方車輪で足先が低棒を通過する時点から倒立にいたる時点まで、1フィールド毎に身体の9つの計測点（指先点、橈骨茎突点、橈骨点、肩峰点、頭頂点、転子点、脛骨点、果点、足先点）の2次元座標値を求めた。この座標値により身体を8つのセグメントからなる剛体リンクモデルとみなし、阿江（1991）、阿江ら（1990）の身体部分係数を用いて各セグメントの部分重心と全身の重心の位置を算出した。この時点ですべての座標値を、デジタルフィルタ（Winter,1990）により cut off 周波数 4.0Hz で平滑化した。

3) 測定項目および測定法

この座標値より、Winter（1990）の方法に従い、各セグメントについて運動方程式を立て、遠位節から解くことによって、股関節と肩関節で発揮されたトルクを求めた。この時に用い

た身体部分係数についても、阿江（1991）、阿江ら（1990）の値を用いた。さらにこのトルクに関節の屈曲伸展の角速度を乗じて関節で発揮されたパワーを算出し、さらにパワーを時間積分することによって関節でなされた力学的仕事を算出した。なお、関節角度の定義とトルクの方法は、第4章第2節2の3)と同様に行った。

後方車輪の回転速度は、身体重心が高棒の鉛直真上を通過する時点の身体重心の速度とした。

4) データ処理

身体重心が高棒の真上を通過する際の身体重心の速度を従属変数、股関節・肩関節でなされた力学的仕事をそれぞれ説明変数とするピアソンの相関係数を算出し、有意水準を5%とした。

3. 結果と考察

段違い平行棒における後方車輪実施中、すべての被験者において、股関節と肩関節で発揮されたパワーは、身体重心が高棒の真下を通過する付近から大きく増大してピークに達した後減少し、身体重心の回転角度が 240° ～ 270° 近辺でほとんど0となっていた。この大きなピークを示すパワーは、その時点の股関節、肩関節における発揮トルクがともに正、関節の角速度が同じくともに正であることから、股関節については屈曲動作、肩関節については伸展動作によって発揮されたものであった。関節トルクと関節の角速度がともに正で一致しているということは、関節が回転する方向に短縮性の筋力が発揮され、選手が積極的に股関節の屈曲と肩関節の伸展を行っていることを示している。この、股関節の屈曲と肩関節の伸展動作は、体操競技の現場では「あふり」といわれ、重要視されている動作である。鉄棒における後方車輪の運動力学的特徴を検討した研究（Okamotoら,1989、矢部ら,1987、矢部ら,1988）によって、あふり動作によって発揮されるパワーが運動課題の解決に重要な役割を担うことが報告されているが、段違い平行棒の後方車輪についても、本研究の結果から、同じ結論が導き出せると考えられる。

しかしながら、多くの被験者において、肩関節、股関節とも、発揮パワーが大きなピークを示して減少した後、最初のピークほどではないが再び増加してピークを示すパターンが見られた。これは鉄棒の後方車輪では報告されていないものであった。2つ目のピークを示すパワーは、その時点の関節トルクの符号が股関節、肩関節ともに負、関節の角速度の符号が

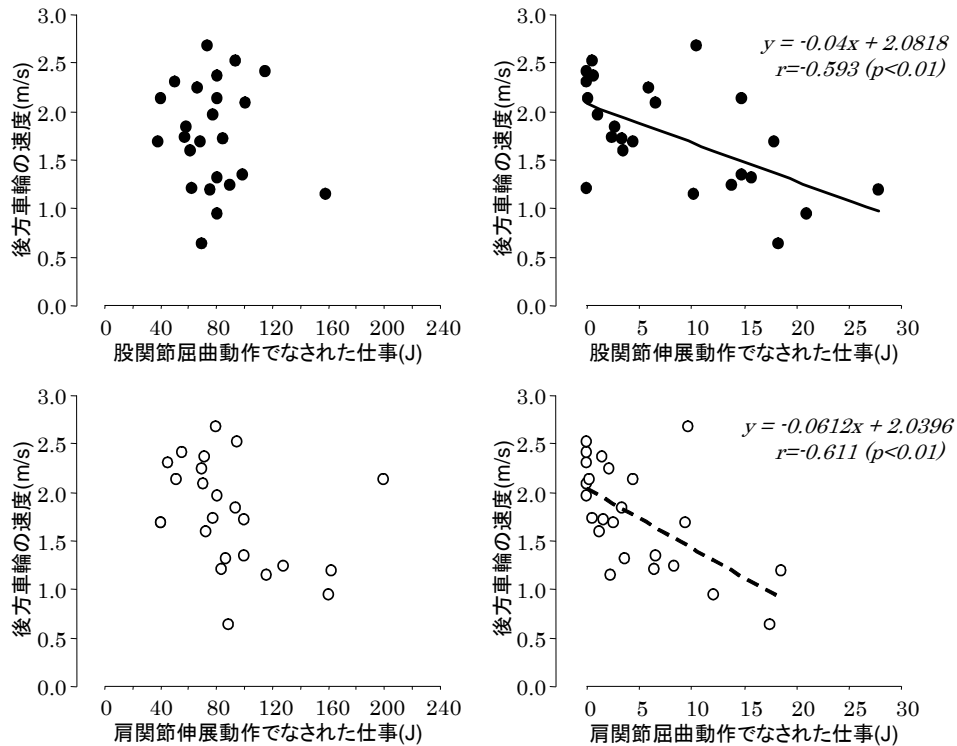


図 4.3.1 後方車輪の速度と股関節屈曲動作、肩関節伸展動作でなされた力学的仕事との関係

ともに負であることから、股関節については伸展動作、肩関節については屈曲動作によって発揮されたものであった。しかも、関節トルクと関節の角速度がともに負であることは、股関節については伸展、肩関節については屈曲の方向に短縮性の筋力が発揮され、股関節、肩関節が外力によってそれぞれ伸展、屈曲されるのではなく、各選手が股関節の伸展と肩関節の屈曲を意図して行っていることを示している。おそらくこれは、後方車輪の終末姿勢を高棒上の倒立として捉えることに起因している動作であると思われるが、この股関節の伸展動作と肩関節の屈曲動作は、後方車輪の運動課題を解決するためのパワーを発揮するあふり動作とは正反対の動作であり、この動作によって発揮されたパワーは、運動課題の解決を阻害すると考えるのが妥当であると思われる。したがって、あふり動作後の股関節伸展動作と肩関節屈曲動作は、後方車輪の回転を妨げる原因となるといえるだろう。

次に関節で発揮されたパワーを時間積分した力学的仕事と、後方車輪の回転速度との関係を明らかにするために、後方車輪の回転速度を表す変数として身体重心が高棒の真上を通過する際の身体重心の速度を求め、これと関節で発揮されたパワーを時間積分することで求めた股関節と肩関節の屈曲伸展動作によってなされた力学的仕事との相関係数を求めた。

その結果、身体重心が高棒真上を通過する際の身体重心の速度と、あふり動作である股関節

屈曲動作、肩関節伸展動作でなされた力学的仕事との間にはそれぞれ有意な相関はみられなかった（図 4.3.1）。あふり動作で発揮される力学的仕事が鉄棒における後方車輪の運動課題の解決に重要な役割を果たすことが明らかにされている（Okamoto ら,1989、矢部ら,1987、矢部ら,1988）が、本研究の結果からは、あふり動作の力学的仕事の大小は段違い平行棒における後方車輪の回転速度に影響を与えないことを示している。これは、本研究で被験者とした選手がすでに後方車輪の運動課題を十分に解決できるレベルであり、すべての被験者が後方車輪回転に必要な力学的仕事を為し得ていることによるとと思われる。すでに後方車輪の運動課題を十分に解決できる選手については、より強いあふり動作を要求することではなく、他の動作によって後方車輪の回転速度を高めなくてはならないことが示唆される。

一方、身体重心の速度と有意な負の相関が、股関節伸展動作でなされた力学的仕事（ $r = -0.593$, $p < 0.01$ ）と肩関節屈曲動作でなされた力学的仕事（ $r = -0.611$, $p < 0.01$ ）との間でそれぞれみられた（図 4.3.1）。これは先に述べた、あふり動作後の、あふり動作と正反対の股関節伸展動作と肩関節屈曲動作が、後方車輪の回転を妨げる原因となることを裏付けていると思われる。つまり、あふり動作と正反対の動作によって発揮された力学的仕事が、あふり動作によって発揮された後方車輪回転のための力学的仕事の一部を打消してしまい、その打消しの程度が後方車輪の回転速度に影響することを示していると考えられる。

段違い平行棒における後方車輪の発表当初、高棒と低棒の間隔が狭く、男子鉄棒の後方車輪の技術が移植される以前には、あふり動作の後、極端な股関節の伸展と肩関節の屈曲が必要とされた。また、棒間が広がった現在でも、後方車輪にひねりを融合させる場合、より高い難度を得るためには、ひねり終わった後の終末姿勢を倒立とすることが要求されている（6）。この場合にも、あふり動作の後、股関節の伸展と肩関節の屈曲が必要とされる。こうしたことが、あふり動作後の股関節の伸展と肩関節の屈曲動作を行う原因となっていると思われるが、後方車輪の速度を増加させる場合には、この動作はできるだけ行わないことが必要であると考えられる。

本研究の結果からは、段違い平行棒における後方車輪の運動課題をすでに解決できる選手が後方車輪の速度を増加させようとする場合、あふり動作によって関節でなされた後方車輪回転のための力学的仕事を打ち消す股関節伸展、肩関節屈曲動作による力学的仕事をなくすことが必要であると思われた。

4. まとめ

本研究の結果から以下の結論を得た。

- ・後方車輪実施中に股関節、肩関節で発揮されたパワーは、すべての被験者で大きなピークを示し、多くの被験者でそれに続く小さなピークを示した。この最初のピークを示すパワーは、いわゆるあふり動作によって発揮されたものであり、2 番目のピークはあふり動作とは正反対の動作によって発揮されたものであった。
- ・関節でなされた力学的仕事と後方車輪の回転速度との関係を見ると、肩関節、股関節とも、あふり動作によってなされた力学的仕事と後方車輪の回転速度との相関は見られなかった。これに対して、あふり動作とは正反対の股関節伸展、肩関節屈曲動作でなされた力学的仕事と、後方車輪の回転速度とはそれぞれ負の相関が見られた。
- ・後方車輪の運動課題をすでに十分解決できる選手に対して後方車輪の回転速度を高める指導を行う際には、あふり動作の強さよりむしろ、その後のあふり動作と逆の動作（股関節の伸展と肩関節の屈曲）の抑制を強調することが重要であると考えられる。

第5章 平行棒における後方車輪系技のバイオメカニクス

第1節 平行棒における後方車輪とその発展技

1. 後方車輪

男子平行棒における後方車輪は、1979年の世界体操選手権ストラスブール大会において日本の監物選手によって世界で始めて発表された。鉄棒における後方車輪が回転軸となる鉄棒を順手で握って回転するのに対して、平行棒での後方車輪は、2本の平行な棒間で左右の棒を棒の内側から握って回転し、器具の高さの制限から懸垂時には膝を曲げ、手を握り替えて倒立に至るといった特性をもった技である。発表当時はその実施自体が高く評価されたが、現在ではこれにひねりを加えたり、回転を加えた技が多くの選手によって行われるようになっており、鉄棒における後方車輪がそうであるように、平行棒の後方車輪もまた、より高い難度の技を習得する際の基本的な技という位置づけになっている（藤原と水口,2001）。

鉄棒における後方車輪については、これまでにそのバイオメカニクスの特徴を明らかにした研究がなされている（Bormsら,1976、Cheetham,1984、KoppとReid,1980、矢部ら,1987、矢部ら,1988）。そのなかで矢部ら（1987,1988）は、鉄棒における後方車輪実施時に関節で発揮されるトルクとパワーを算出し、鉄棒における後方車輪の実施には、肩関節の伸展と股関節の屈曲によって発揮されたパワーが重要な役割をもち、特に肩関節の伸展を強調する指導が必要であることを示した。

しかしながら、平行棒の後方車輪については、これをバイオメカニクスの観点から分析した研究は見られない。前述したように、現在では高難度の技の基本技とされている平行棒の後方車輪のバイオメカニクスの特徴を明らかにすることは、その技の運動技術を明らかにする上で有効であり、それによって効果的な指導の手助けとなるものと思われる。

2. 「後方車輪から後方かかえ込み2回宙返り腕支持」

後方車輪から後方にかかえ込み姿勢で2回宙返りし、再び平行棒上に両腕の上腕部で懸垂する運動課題をもつ技である「後方車輪から後方かかえ込み2回宙返り腕支持」（図5.1.1）は、1987年の世界体操選手権ロッテルダム大会において、東ドイツ（当時）のベーレ選手によって始めて発表された。新しい技は発表者の名前を冠するという体操競技の慣例に従い、



図 5.1.1 後方車輪から後方かかえ込み 2 回宙返り腕支持（ベーレ）
 （図 5.1.2 と運動方向を同じくするために左右反転してある）

「ベーレ」と呼ばれている。ベーレは 2001 年版、2006 年版採点規則で E 難度に位置づけられ、現在では高得点を得るために多くの選手が演技の中に取り入れている。この技はその正式名称のとおり、後方車輪から後方にかかえ込み姿勢で 2 回宙返りし、再び平行棒上に両腕の上腕部で懸垂する（腕支持となる）ことを運動課題としており、後方車輪がこの技の実施に不可欠となる。この技「ベーレ」は、現在では高得点を得るために多くの選手が演技の中に取り入れており、さらに回転姿勢を屈身にする、ひねりを加えるといった発展技も発表されている。競技会において多くの選手が実施するようになった現在、ベーレの出来栄が演技の優劣を決定する要因となることが考えられる。優れたベーレの実施条件として、運動の全局面に姿勢欠点がないことは当然として、宙返りがより高く、かかえ込み姿勢を明確に示した後、腕支持の前に身体を伸ばして回転の余裕を見せることがあげられる。

ベーレの運動技術については、藤原と水口（2001）が、宙返りに至る後方車輪中、「倒立からの振り下ろしで身体をまっすぐにして遠くを通す」、「抜きあふりを少し早めに行う」、懸垂からの上昇局面において「わきのしぼりと膝の送りをすばやく行う」ことを挙げている。彼らの言う「抜き」とは、後方車輪の懸垂局面において股関節の伸展と肩関節の屈曲を大きくして身体を反らせること、「あふり」とは、「抜き」の反動を使って股関節を屈曲、肩関節を伸展させること、「わきのしぼり」とは、肩関節を強く伸展させることで、いずれも体操競技のトレーニングの現場で用いられている言語である。

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15



16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33



図 5.1.2 後方車輪から後方屈身 2 回宙返り腕支持（屈身ペーレ）

多くの選手が実施している技でありながら、ペーレの運動技術をバイオメカニクス的に分析した研究は見られない。ペーレのバイオメカニクス的な特徴をその基本技である後方車輪と比較して明らかにすること、高さと同転速度のあるペーレの実施のためにどのような身体操作が必要かを明らかにすることは、この技の運動技術を明らかにする上で有効であり、それによって効果的な指導の手助けとなるものと思われる。

3. 「後方車輪から後方屈身 2 回宙返り腕支持」

1995 年の世界体操選手権鯖江大会において、ペーレの宙返り姿勢を屈身にした「後方車輪から後方屈身 2 回宙返り腕支持」が日本の田中選手によって発表された。この技は「屈身ペーレ」と呼ばれている（図 5.1.2）。2006 年版採点規則（財）日本体操協会,2006）では、ペーレは E 難度、屈身ペーレは F 難度に位置づけられている。現在では高い得点を獲得するために、D、E、F 難度の技を実施することが必要となっており、E 難度のペーレは多くの選手によって実施されており、F 難度の屈身ペーレもまた実施する選手が増加してきている。

屈身ペーレの技術について取り上げた指導書や研究は皆無である。屈身ペーレは上述のようにペーレの宙返り姿勢をかかえ込みから屈身に発展させた技であるため、その運動技術はペーレと類似していると考えられるが、この点について検討した研究は見られない。多くの選手が実施しているペーレと、今後さらに実施する選手が増加すると思われる屈身ペーレの運動技術の類似点や差異を検討することは、この技の指導において大きな手助けとなると思われる。

第2節 鉄棒と平行棒の後方車輪の力学的比較

1. 目的

本研究では、特に平行棒の後方車輪実施中に関節で発揮されるトルク、パワーの変化を明らかにし、それを鉄棒における後方車輪の実施時と比較することによって、平行棒における後方車輪の運動技術を探ることを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

本研究の被験者は、平行棒と鉄棒のどちらの後方車輪にも熟練している大学男子体操選手6名（年齢 19.7 ± 1.0 歳、身長 1.66 ± 0.02 m、体重 60.3 ± 3.2 kg、競技年数 13.2 ± 1.8 年）であった。

被験者には実験前に本実験の目的、方法を説明し、研究参加の同意を得た。

2) 撮影と分析

被験者にまず、平行棒における後方車輪（以下 PB）を、「倒立から振り下ろして再び倒立になる後方車輪を実施する」ことを課題として指示し、任意の練習の後、数回実施させた。ここでいう倒立とは、手首を真下とし、手首、肩関節、股関節、足先ができるだけ垂直線にある姿勢のことを指す。試技の撮影は、平行棒の側方 24m に設置したデジタルビデオカメラ（SONY,DCR-VX1000）により、毎秒 60 フィールド、露出時間 1/250 秒で行った。次に被験者に、鉄棒における後方車輪（以下 HB）を、「倒立から振り下ろして倒立姿勢を経過する後方車輪を実施する」ことを課題として指示し、任意の練習の後、数回実施させた。試技の撮影は、鉄棒の真横 16 m、鉄棒の高さに設置したデジタルビデオカメラ（SONY,DCR-VX1000）により、毎秒 60 フィールド、露出時間 1/250 秒で行った。PB、HBともに、試技に先立って較正器を撮影した。また、後のデジタイズの際の助けとなるよう、被験者の手首、肘関節、頭頂、大転子、膝関節、足首、足先にはビニルテープと反射マーカールを貼付した。

撮影したビデオの分析は、各被験者について、PB、HBともに被験者の内省報告と験者の観察の両方が、指示した課題を最もよく満足したと判定した試技について行った。分析は、

身体計測点 9 点（指先、手首、肘関節、肩関節、頭頂、大転子、膝関節、足関節、足先）の X（水平）、Y（鉛直）座標値を、平行棒、鉄棒ともに倒立から倒立までの後方車輪 1 周について、2 フィールドごと（30Hz）に、ビデオ動作解析システム（DKH, Frame-DIAS II）を用いてデジタル化した。

デジタル化の後、実長に換算した各身体計測点の座標値は、それぞれの計測点の X、Y 座標ごとに、Winter（1990）の残差分析法を用いて遮断周波数（X 座標 1.5～3.9Hz、Y 座標 1.8～3.9Hz）を決定し、Butterworth digital filter（Winter,1990）により平滑化した。

3) 測定項目と測定法

身体を頭部、体幹、上腕、前腕、手、大腿、下腿、足部の 8 つのセグメントからなる剛体リンクモデルにおきかえ、平滑化した各身体計測点の座標と、阿江ら（1996）の慣性係数を用いて、全身の重心、身体各セグメントの重心ならびに慣性モーメント、膝関節、股関節、肩関節の屈曲伸展角度、身体の回転角度（以下 RA）（図 5.2.1）を算出した。さらに身体計測点と各セグメント重心の位置、各関節角度を時間微分することによって速度、加速度、角速度、角加速度を求めた。

これらのデータをもとに、各セグメントについて運動方程式（Winter,1990）を立て、足部から順に解くことによって、膝関節、股関節、肩関節

のトルクを算出した。各関節のトルクは、伸展方向を正、屈曲方向を負とした。また、各関節トルクは左右の合計とし、被験者の身体質量によって除し、標準化した。さらに、関節トルクと関節角速度の積から関節パワーを、RA10～350° 間で発揮された関節パワーを RA90° ごとに時間積分することによって関節でなされた仕事をそれぞれ算出した。

4) データ処理

各被験者の動作には時間的な差異があるので、比較を容易にするために、算出した関節トルク、パワーのデータについて、3 次のスプライン関数（玄と井田,1986）を用いて RA5° ご

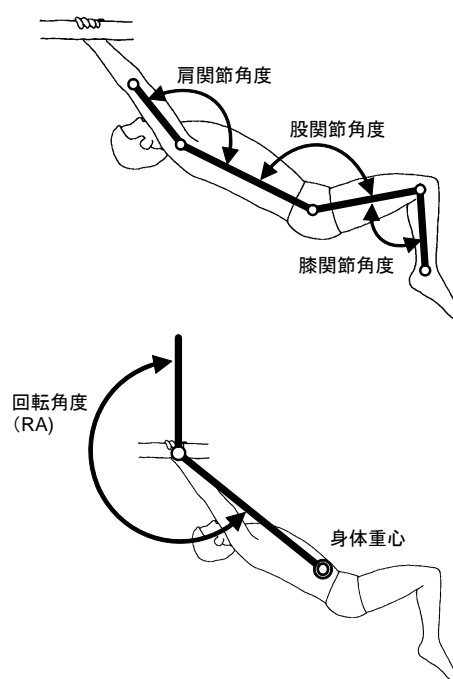


図 5.2.1 関節角度と身体の回転角度の定義

との時点の値を算出した。

PB と HB の差の検定には、Wilcoxon の符号付順位検定を用い、有意水準を 5%、有意傾向を 10%とした。

3. 結果

1) 関節角度

図 5.2.2 は、1 名の被験者の PB と HB のスティックピクチャーを RA15° ごとに示したものである。

図 5.2.3 は、PB と HB の各関節角度の変化を被験者の平均値と標準偏差で示したものである。前述のように、鉄棒の高さが着地マットから 2.55m であるのに対し、平行棒の高さは 1.80m と規定されているため、PB では、RA が 180° となる懸垂時の前後で膝関節を屈曲させる必要が生じる。そのため、HB では全運動経過中膝関節角度はほぼ 180° を維持しているのに対して、PB では、膝関節角度は RA90° を過ぎる頃から減少し、RA195~300° の間、71.6° ~82.5° の間の値を示し、その後再び増大していた。PB と HB で、RA90° で有意傾向のある差 ($p<0.10$)、RA105 ~ 345° の間で有意な差 ($p<0.05$) が見られた。

股関節角度は、PB と HB どちらも、倒立からの振り下ろしからやや減少した後、RA135~165° の懸垂時まで増大し、その後再び減少して RA255° 以降再度増大するという大まかなパターン

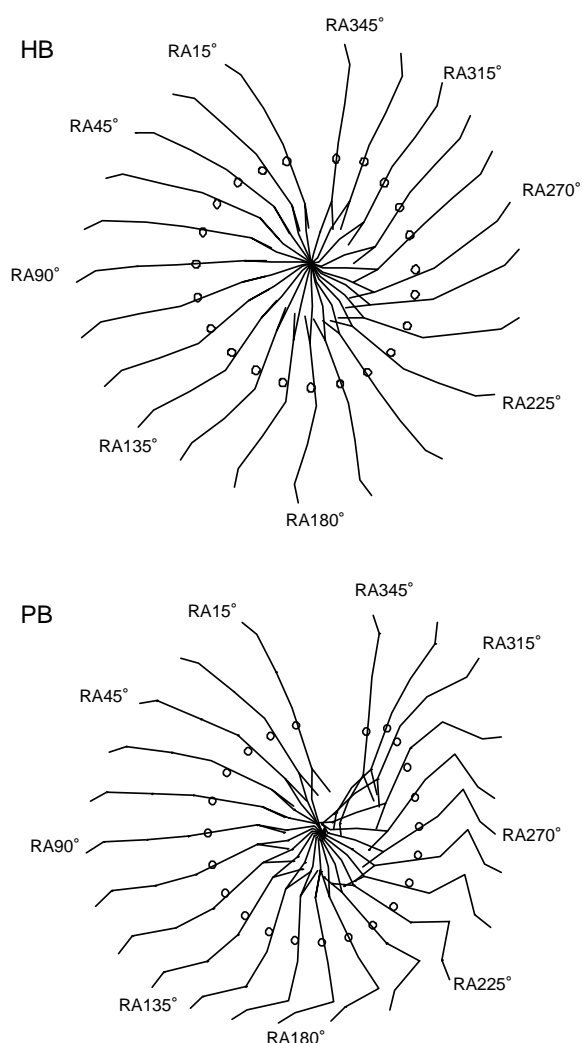


図 5.2.2 1 名の被験者の鉄棒における股負王車輪 (上) と平行棒における後方車輪のスティックピクチャー
O indicates body center of gravity

ンは一致していた。しかしながら、PB では、倒立からの振り下ろしから RA15～60° の間、HB に比べて股関節角度はより小さく、有意傾向のある差 ($p<0.10$) もしくは有意な差 ($p<0.05$) が認められた。その後、HB では RA165° まで増大して最大値 ($203.9\pm 10.5^\circ$) を示すのに対して、PB では RA135° 時点で極大値 ($188.5\pm 10.9^\circ$) を示した後減少を始めていた。PB、HB とともに RA255° で極小値 (PB: $138.1\pm 3.8^\circ$ 、HB: $159.8\pm 7.1^\circ$) を示すが、RA135～255° の間、PB の股関節角度は、HB に比べて常に有意に小さな値を示した ($p<0.05$)。その後股関節角度は PB、HB とともに増大するが、RA285～345° の間、PB の股関節角度は、HB に比べて常に有意に大きな値を示した ($p<0.05$)。

肩関節角度は、HB では、倒立からの振り下ろしからわずかに減少するが、RA60° 時に $162.7\pm 5.4^\circ$ を示した後増大し、RA165° 時に最大値 $178.7\pm 5.8^\circ$ を示した。その後減少して RA270° で最小値 $144.8\pm 5.6^\circ$ を示し、再び増大していた。PB では、倒立からの振り下ろしからいったんわずかに減少して RA30° で $157.3\pm 7.0^\circ$ を示してから、RA75° 時に $167.3\pm 5.5^\circ$ を示すまで微増した後、RA180° までほぼ変化はなく、その後減少して RA285° で最小値 ($128.2\pm 6.5^\circ$) を示してから増大していた。RA90° 以降 RA345° まで、肩関節角度は常に PB の方が HB に比べて小さな値を示し、有意傾向のある差 ($p<0.10$) もしくは有意な差 ($p<0.05$) が認められた。

2) 関節トルク

図 5.2.4 は、PB と HB の関節トルクの変化を被験者の平均値と標準偏差で示したものである。

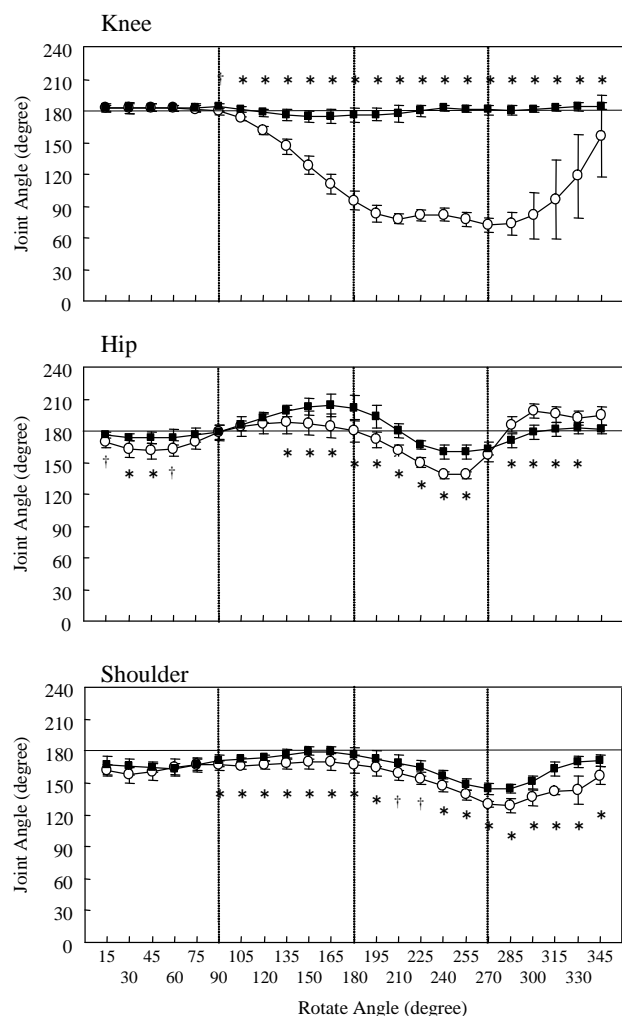


図 5.2.3 関節角度の変化

Horizontal Bar (mean±SD) Parallel Bars (mean±SD)
 †: Difference between Parallel bars and Horizontal bar ($p<0.10$)
 *: Significant difference between Parallel bars and Horizontal bar ($p<0.05$)

HB の膝関節トルクは運動全経過中ほぼ 0 に近かったのに対して、PB では、RA30～45° の間で屈曲トルク、RA75～90° の間で伸展トルク、RA105°～270° の間に屈曲トルク、RA285～300° の間で伸展トルクが発揮されており、それぞれ PB と HB で有意な差もしくは有意傾向のある差が見られた。

PB と HB の股関節トルクパターンは、RA105～195° 時点で伸展トルク、その後 RA255° 前後まで屈曲トルクが発揮されるという点で似通った変化を示していた。また、伸展トルクのピーク値 (PB : $0.86 \pm 0.38 \text{ Nm/kg}$ 、HB : $0.61 \pm 0.38 \text{ Nm/kg}$)、屈曲トルクのピーク値 (PB : $-0.99 \pm 0.22 \text{ Nm/kg}$ 、HB : $-1.07 \pm 0.24 \text{ Nm/kg}$) とともに、PB と HB で差がみられなかった。

しかしながら PB では、RA15～30° 時点でいったん伸展トルクが発揮され、その後 RA75～95° の間で屈曲トルクが発揮されており、PB と HB で有意な差もしくは有意傾向のある差が見られた。また、回転の後半である RA255° では、HB で屈曲トルクが発揮されているのに対して PB ではほとんどトルクの発揮がなされず、RA270° では PB において伸展トルクが発揮されており、ともに PB と HB 間で有意な差が認められた。続く RA285～315° では、HB で伸展トルクが発揮されているのに対して PB では屈曲トルクが発揮されており、ここでも PB と HB 間で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。

肩関節トルクは、PB、HB とも、RA240° 時点で伸展トルクが大きなピークを示す点は一致しており、そのピーク値 (PB : $3.82 \pm 0.93 \text{ Nm/kg}$ 、HB : $3.15 \pm 0.38 \text{ Nm/kg}$) にも差が見られなかった。また、そのピークに達するまでに、伸展トルクが増加し始める時点は RA165° であることは共通していたが、HB は徐々に増加が始まり、RA210° から急激に増加するの

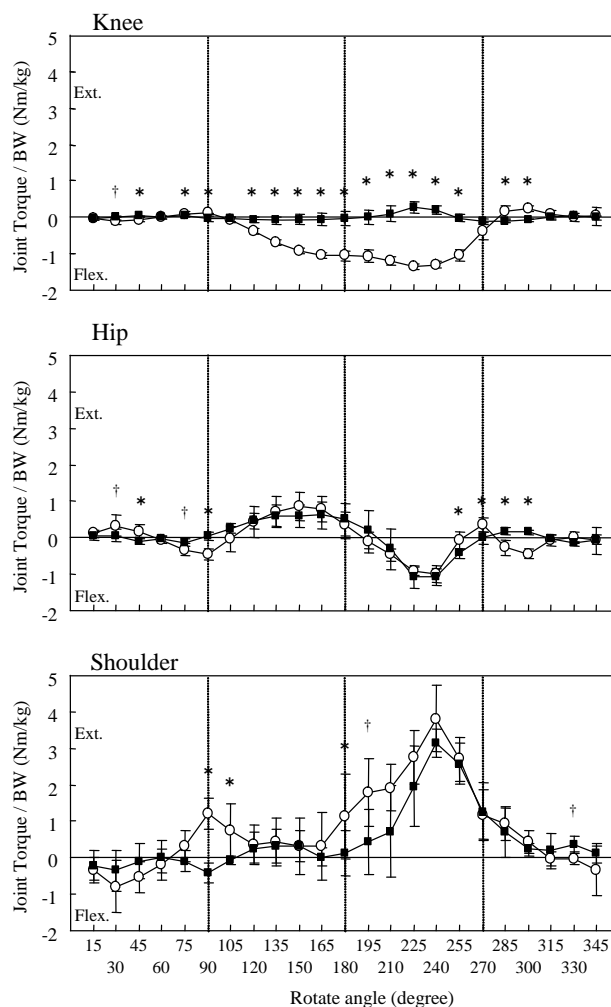


図 5.2.4 関節トルクの変化

■ Horizontal Bar (mean±SD) ○ Parallel Bars (mean±SD)
 †: Difference between Parallel bars and Horizontal bar ($p < 0.10$)
 *: Significant difference between Parallel bars and Horizontal bar ($p < 0.05$)

に対して、PB では、RA180° の時点 (PB : $1.13 \pm 1.16 \text{ Nm/kg}$ 、HB : $0.13 \pm 0.63 \text{ Nm/kg}$ 、 $p < 0.05$)、RA195° の時点 (PB : $1.78 \pm 0.93 \text{ Nm/kg}$ 、HB : $0.44 \pm 0.90 \text{ Nm/kg}$ 、 $p < 0.10$) で HB よりも大きな値を示してピークに達していた。また PB で、RA90° 前後で伸展トルクが発揮される点は、HB には見られないものであった。

3) 関節パワー

図 5.2.5 は、PB と HB の関節パワーの変化を被験者の平均値と標準偏差で示したものである。

HB では、膝関節パワーは運動の全経過中ほとんど発揮されていなかった。これに対して PB では、RA105~210° の間、RA165° でピーク ($6.87 \pm 1.64 \text{ W/kg}$) に達する正のパワーが発揮されており、RA120~195° の間、PB の値は HB より有意に大きかった ($p < 0.05$)。

股関節パワーは、PB で屈曲トルクが発揮されている RA75~90° の時点で負の値を示し、HB と有意な差が認められた ($p < 0.05$)。また RA135~165° の間、PB、HB ともに伸展トルクが発揮されているが、パワーは HB では正の値を示すのに対して PB では負の値を示し、この局面で PB と HB との間に有意な差が認められた ($p < 0.05$)。続いて PB、HB ともに負の値を示した後、RA225° 時点で正のピーク

(PB : $3.59 \pm 0.64 \text{ W/kg}$ 、HB : $3.01 \pm 1.94 \text{ W/kg}$) を示すが、その値に有意な差もしくは有意傾向のある差は認められなかった。しかしながら HB は RA210° から正のパワーが発揮されるのに対して、PB ではそれより早い RA195° の時点から正のパワーが発揮され始めていた。また、ピーク後も、HB では急激に減少していたが、PB では減少が緩やかで、RA240° 時点

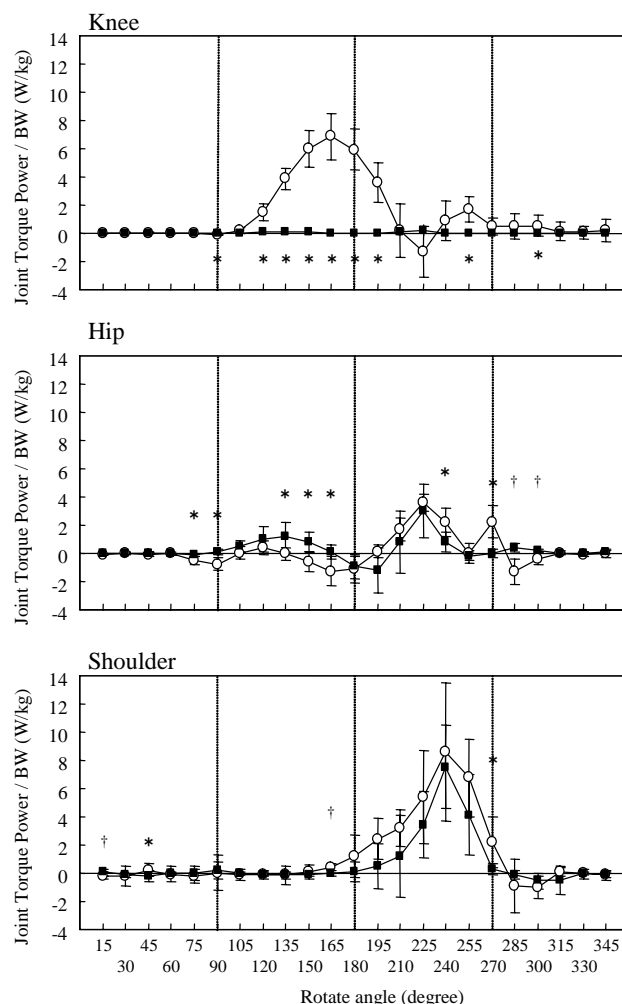


図 5.2.5 関節パワーの変化

Horizontal Bar (mean±SD)
 Parallel Bars (mean±SD)

†: Difference between Parallel bars and Horizontal bar ($p < 0.10$)

*: Significant difference between Parallel bars and Horizontal bar ($p < 0.05$)

で PB (2.20 ± 1.02 W/kg) の方が HB (0.83 ± 0.71 W/kg) よりも有意に大きな値を示していた ($p < 0.05$)。また、PB では RA255° 時点まで減少した後、RA270° の時点で再び正のパワーが発揮されており、RA270° の時点で PB (2.23 ± 1.18 W/kg) の方が、HB (0.03 ± 0.31 W/kg) より有意に大きかった ($p < 0.05$)。

肩関節パワーは、PB、HB とともに RA240° 時点で大きなピークを示すパターンは一致していた。しかしながら、PB では RA240° のピークに達するまでの立ち上がりが HB に比べて早く、RA165° 時点で PB (0.39 ± 0.35 W/kg) の方が HB (-0.01 ± 0.23 W/kg) よりも大きく、有意傾向のある差が認められた ($p < 0.10$)。またピーク後も、PB では HB に比べて低下の度合いが小さく、RA270° で PB (2.22 ± 1.82 W/kg) の方が HB (0.33 ± 0.39 W/kg) よりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。

4) 関節でなされた仕事

表 5.2.1 に、PB と HB の実施中各関節で発揮された関節トルクによる力学的仕事量を被験者の平均値と標準偏差で示した。

膝関節トルクによる仕事は、RA90~180° 局面で PB (PB : 1.04 ± 0.14 J/kg) の方が HB (0.02 ± 0.02 J/kg) よりも有意に大きく ($p < 0.05$)、RA180~270° 局面でも PB (0.39 ± 0.28 J/kg) の方が HB (0.01 ± 0.03 J/kg) よりも大きな有意傾向にあり ($p < 0.10$)、RA270~350° 局面でもさらに PB (0.15 ± 0.06 J/kg) の方が HB (0.00 ± 0.01 J/kg) よりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。RA10~350° の全運動経過の総計では、PB (1.59 ± 0.19 J/kg) の方が HB (0.03 ± 0.04 J/kg) よりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。

表 5.2.1 関節トルクによってなされた力学的仕事

		Normalized joint torque work (J/kg)				
		RA10-90°	RA90-180°	RA180-270°	RA270-350°	total
Knee	PB	0.00 ± 0.01	1.04 ± 0.14	0.39 ± 0.28	0.15 ± 0.06	1.59 ± 0.19
	HB	0.00 ± 0.00	0.02 ± 0.02 *	0.01 ± 0.03 †	0.00 ± 0.01 *	0.03 ± 0.04 *
Hip	PB	-0.11 ± 0.07	-0.12 ± 0.06 *	0.49 ± 0.17 *	-0.07 ± 0.12 †	0.19 ± 0.27
	HB	-0.01 ± 0.02 *	0.19 ± 0.17 *	0.19 ± 0.15 *	0.04 ± 0.04	0.42 ± 0.25
Shoulder	PB	-0.05 ± 0.15	0.03 ± 0.09	1.64 ± 0.43	-0.10 ± 0.23	1.52 ± 0.59
	HB	-0.01 ± 0.07	-0.01 ± 0.05	1.06 ± 0.29 †	-0.10 ± 0.11	0.93 ± 0.29
total	PB	-0.16 ± 0.17	0.96 ± 0.20	2.52 ± 0.47 *	-0.02 ± 0.31	3.29 ± 0.51
	HB	-0.02 ± 0.07 †	0.20 ± 0.23 *	1.26 ± 0.41 *	-0.06 ± 0.12	1.38 ± 0.42 *

Mean \pm SD

PB: Parallel bars HB: Horizontal bar

† : Difference between PB and HB ($p < 0.10$)

* : Significant difference between PB and HB ($p < 0.05$)

股関節トルクによる仕事は、RA10～90°の局面で、HB (-0.01±0.02 J/kg) ではほとんどなされていなかったのに対して、PB (-0.11±0.07 J/kg) では負の仕事がなされており、PB と HB で有意な差が認められた (p<0.05)。RA90～180°の局面では、HB (0.19±0.17 J/kg) では正の仕事がなされていたのに対し、PB (-0.12±0.06 J/kg) では負の仕事がなされており、PB と HB で有意な差が認められた (p<0.05)。また、RA180～270°の局面では、HB、PBともに正の仕事がなされていたが、PB (0.49±0.17 J/kg) の方が HB (0.19±0.15 J/kg) に比べて有意に大きな値を示していた (p<0.05)。この局面の各被験者の股関節角速度、股関節トルク、股関節パワーの動態を示したのが図 5.2.6 である。HB では、この局面の初期に股関節の伸展トルクによる負のパワーが発揮された後、股関節の屈曲トルクによる正のパワーが発揮されていたのに対して、PB ではこの局面の早い時点から股関節の屈曲トルクによる正のパワーが発揮され、さらにこの局面終盤で股関節の伸展トルクによる正のパワーが発揮されていた。この

局面で股関節の伸展・屈曲トルクそれぞれによる仕事の大きさを示したのが表 5.2.2 である。股関節屈曲トルクによる仕事の大きさには HB と PB で差がなかったのに対して、股関節の伸展トルクによる仕事は、HB で負の値 (-0.12±0.11J/kg) を示したのに対して、PB では正

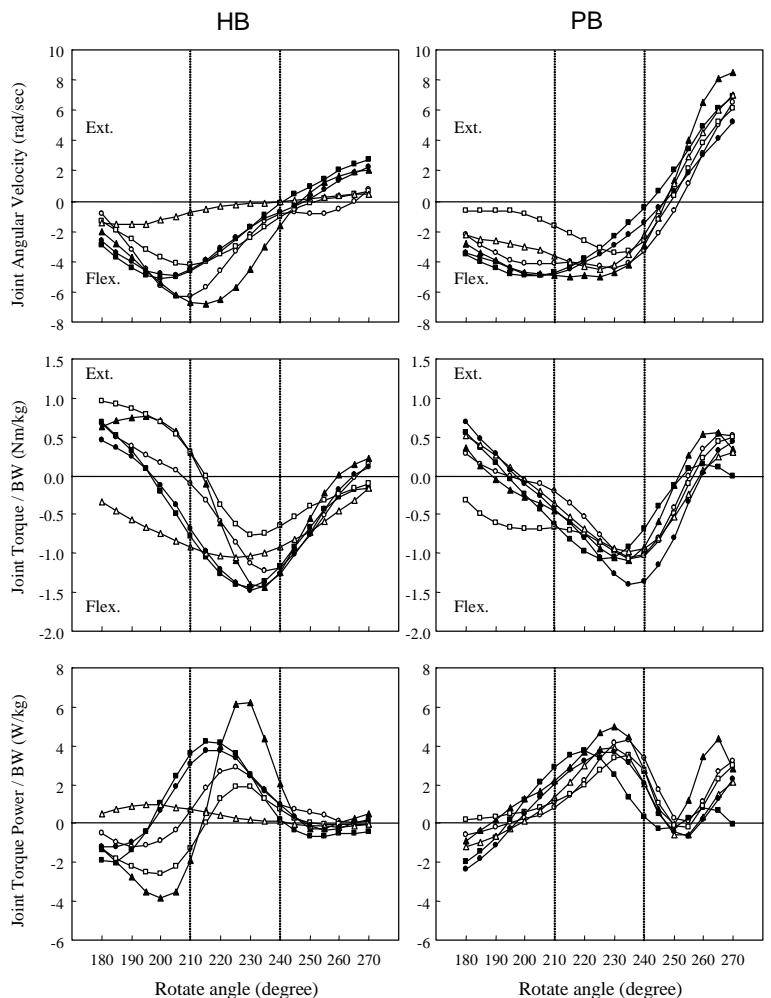


図 5.2.6 回転角度 180-270° 局面中各被験者の股関節角速度、股関節で発揮されたトルクとパワーの変化

HB: Horizontal Bar PB: Parallel bars

Sub.A Sub.D
Sub.B Sub.E
Sub.C Sub.F

表 5.2.2 RA180-270° 局面において股関節でなされた力学的仕事

	Normalized hip joint torque work (J/kg)	
	Done by Positive hip torque (Extention)	Done by Negative hip torque (Flexion)
PB	0.09 ± 0.10	0.40 ± 0.07
HB	-0.12 ± 0.11 *	0.31 ± 0.15

Mean ± SD

PB: Parallel bars HB: Horizontal bar

*: Significant difference between PB and HB (p<0.05)

の値 ($0.09 \pm 0.10 \text{ J/kg}$) を示し、有意な差 ($p < 0.05$) が認められた。RA270~350° の局面では、HB ($0.04 \pm 0.04 \text{ J/kg}$) では正の仕事がなされていたのに対し、PB ($-0.07 \pm 0.12 \text{ J/kg}$) ではわずかに負の仕事がなされており、HBの方がPBよりも大きい有意傾向が認められた ($p < 0.10$)。RA90~350° の全運動経過の総計では、PBとHBで差は認められなかった。

肩関節トルクによる仕事は、RA10~90°、RA90~180° の各局面ではPBとHBともほとんどなされていなかった。RA180~270° の局面ではPB、HBともに大きな正の仕事がなされていたが、PB ($1.64 \pm 0.43 \text{ J/kg}$) の方が、HB ($1.06 \pm 0.29 \text{ J/kg}$) より大きい有意傾向が認められた ($p < 0.10$)。RA270~350° の局面では、PB、HBともに負の仕事がなされていたが、その値に差はなかった。RA90~350° の全運動経過の総計では、PBとHBの間に有意傾向のある差もしくは有意な差は認められなかった。

表 5.2.1 の最下段には運動局面ごとに各関節トルクによってなされた仕事量の総計を示した。RA10~90° の局面では、PB ($-0.16 \pm 0.17 \text{ J/kg}$) の方が、HB ($-0.02 \pm 0.07 \text{ J/kg}$) より小さい有意傾向が認められた ($p < 0.10$)。RA90~180° の局面では、PB ($0.96 \pm 0.20 \text{ J/kg}$) の方が、HB ($0.20 \pm 0.23 \text{ J/kg}$) より有意に大きかった ($p < 0.05$)。RA180~270° の局面では、PB ($2.52 \pm 0.47 \text{ J/kg}$) の方が、HB ($1.26 \pm 0.41 \text{ J/kg}$) より有意に大きかった ($p < 0.05$)。RA270~350° の局面では、PBとHBに差は認められなかった。全運動経過中に各関節トルクによってなされた総仕事量は、PB ($3.29 \pm 0.51 \text{ J/kg}$) の方が、HB ($1.38 \pm 0.42 \text{ J/kg}$) より有意に大きかった ($p < 0.05$)。

4. 考察

矢部ら (1987) は、鉄棒における後方車輪の実施中、支持点の摩擦抵抗や空気抵抗によって失われた力学的エネルギーの損失は、身体重心が鉄棒の真下を過ぎて身体が上昇する局面における股関節の屈曲と肩関節の伸展によって発揮されたパワーによって補われることを明らかにしている。このことは、本研究におけるHBとPBにおいても同様に確認された。すなわち、HB、PBどちらも、身体重心が鉄棒あるいは平行棒の真下を通過して身体が上昇する局面で、股関節の屈曲トルクと肩関節の伸展トルク、それらのパワーが発揮されていた。また、股関節の屈曲パワーに比べて肩関節伸展パワーが大きなこともHBとPBで共通しており、HBについての矢部ら (1987) の報告と一致していた。しかしながら、それらが発揮されるパターンは、HBとPBで異なる特徴が見られた。

PBでは、器具の高さの制限から懸垂時に膝関節を屈曲させる必要が生じるが、それは膝

関節の角度変化、屈曲トルク、屈曲パワーに明確に現れていた。懸垂時に膝関節を屈曲させる動作は HB には見られないものであり、それによって平行棒のバーを中心とした身体の回転の回転半径が減少する。さらには PB では後方車輪の最終局面である倒立に至る際に手の握り換えを行わなければならない、そのためには身体をバーの上方に浮き上がらせる必要がある。こうしたことが、懸垂以降身体を上昇させるために股関節、肩関節が発揮するトルクの大きさと、それがなす力学的仕事の大きさに HB と PB の差を生じさせると考えられる。

運動の全経過中に各関節がなした仕事の総量は、PB の方が HB に比べて有意に大きかった。これは主として膝関節の屈曲トルクによる仕事量の差が原因であると思われるが、回転の局面、各関節ごとに詳細に考察してみたい。

股関節についてみると、トルク発揮のパターンとその大きさで、PB と HB で大きな差がみられたのは、RA90° 時点と RA270° 前後の時点であり、懸垂に至る局面から身体が上昇を始める局面では大きな差はみられなかった。しかしながらパワー発揮の動態は、懸垂局面の前後で負のパワーが発揮されることは PB と HB に共通していたが、その発揮時期は PB の方が早く、股関節でなされた力学的仕事は、懸垂に至る RA90~180° の局面では、HB が正の値を示したのに対して、PB では負の値を示していた。この局面では PB、HB ともほとんどの期間股関節の伸展トルクが発揮されているので、HB では RA90~165° の間、股関節の伸展筋群がコンセントリックに活動しているのに対して、PB では RA135~180° の局面で、股関節伸展筋群のエキセントリックな活動がなされていることを示している。HB においても、股関節の伸展トルクが発揮され、パワーが負の値を示す RA180~195° の局面で股関節伸展筋群のエキセントリックな筋活動がなされていると考えられる。懸垂に至る局面で上半身が回転すると、下半身のもつ慣性と股関節伸展トルク発揮によって、足先が回転の後方に残り、上半身が鉄棒もしくは平行棒の真下を通過する前後の局面では、下半身は重力の影響によって上半身の回転と同じ方向に回転を始めようとする。これによって股関節が屈曲するが、本研究で PB、HB に共通して見られた懸垂前後の局面での股関節伸展筋群のエキセントリックな筋活動は、股関節を屈曲させようとする外力に対して股関節伸展を維持しようとする努力が必要であることを示唆している。股関節の伸展を維持しようせず、股関節を屈曲させる外力に合わせて股関節屈曲トルクを発揮してしまうと、股関節屈曲トルク発揮が後方車輪の回転の早い時点で行われてしまい、結果的に身体を上昇させることが困難になると考えられる。したがって懸垂に至る局面の股関節伸展筋群によるエキセントリックな筋活動による股関節伸展維持のための努力は、つぎの股関節屈曲トルク発揮を望ましい局

面で行うための重要な準備動作として位置づけられると思われる。このことはこれまでになされてきた鉄棒の後方車輪に関する研究においても触れられておらず、本研究によって明らかにされた知見であるといえる。

このように重要な意味をもつ懸垂に至る局面での股関節伸展筋群のエキセントリックな筋活動は、PBの方がHBに比べてその開始時間が早かった。PBにおいては、膝関節を屈曲させることで下半身の慣性モーメントが小さくなるため、股関節を屈曲させようとする外力の出現がHBよりも早いと考えられる。身体の上昇を効果的に行うための股関節屈曲トルク発揮を望ましい局面で行うために、PBでは股関節伸展筋群のエキセントリックな筋活動による股関節伸展の維持を懸垂に至る局面の早い時点から行うことが必要であり、これがPBにおける重要な技術的ポイントであると示唆される。

また、RA180~270°では股関節でなされる力学的仕事の大きさは、PBの方が大きかった。図5.2.6と表5.2.2に示された結果から、HBでは身体重心が鉄棒の真下を通過した以降も股関節の伸展を維持するための股関節伸展トルクによる負の仕事がなされ、その後股関節の屈曲トルクによる正の仕事がなされるため、結果的に仕事の総和が小さくなっている。これに対して、PBでは股関節の屈曲トルクによる正の仕事がこの局面の早い時点からなされ、終盤で股関節の伸展トルクによる正の仕事がなされているので、仕事の総量は大きくなる。この局面で、PBにおいて股関節でなされる力学的仕事が大きくなったのは、股関節の屈曲トルクによる仕事が大きいためではなく、HBに比べてPBではこの局面初期に股関節の伸展トルクによる負の仕事がなされない上に、この局面終盤で股関節の伸展トルクによる正の仕事がなされるためであると考えられる。

トレーニングの現場では、懸垂局面以降の股関節の屈曲は「あふり」という言葉で表現され、身体を上昇させるための仕事をなすために懸垂局面以降この「あふり」を強く行うといった指導がなされるが、この「あふり」を望ましい時点で行うために懸垂局面までは股関節角度を広く維持することが求められ、PBではHBに比べてそれを早い時点から行う必要があることが示唆される。さらに、PBにおいては後方車輪の最終局面である倒立に至る際、手の握り換えを行うために身体をバーの上方に浮き上がらせる必要があるが、HBでは見られないRA250°付近以降のPBでの股関節伸展トルクによる正の仕事は、後方車輪回転の勢いを身体の上昇に変える、いわゆる「あて」といわれる身体操作の結果であると考えられる。RA270°直後に見られる股関節屈曲トルクによる負の仕事の発揮は、「あて」の後に股関節が伸展しすぎないためになされているものと考えられる。

肩関節については、発揮された伸展トルクのピークの大きさ、その発揮開始時点は身体重心が鉄棒あるいは平行棒の真下を通過して身体が上昇する局面であることに差は見られないものの、PB では HB に比べて早い時点から大きな伸展トルクが発揮されていた。パワーも、発揮されるのは懸垂局面以降であることに HB と PB で違いはないが、PB は HB よりも早い時点から発揮され、ピークを示した以降も HB より長く発揮されていた。また、肩関節でなされた力学的仕事の大きさは、PB、HB とともに股関節の屈曲トルクによってなされた力学的仕事に比べて 3 倍程度大きく、PB、HB とともにそのほとんどの部分が肩関節の伸展トルクが発揮される期間になされていたが、PB は HB よりも大きな有意傾向が認められた。これらのことは、PB では HB に比べて、懸垂局面以降のより早い時点から、長い時間にわたって大きな肩関節伸展トルクの発揮と、それによる仕事が必要であることを示している。

前述のように PB では膝関節を屈曲させた状態で懸垂し、それを伸展させた姿勢で倒立に至るため、回転半径を増大させながら身体を上昇させなければならない上に、後方車輪の最終局面で身体をバーの上方に浮き上がらせる必要がある。そのための力学的仕事を関節がなさなければならないが、これが肩関節の屈曲トルクを HB 以上に大きく発揮しなければならない原因であると思われる。

トレーニングの現場では、この懸垂局面以降の肩関節の伸展動作を、「バーの引き」と表現しているが、この動作を懸垂局面の早い時点から強く、しかも長く行うことが、平行棒における後方車輪を成功させる上で重要なポイントであることがうかがえる。

以上のことから、PB では、懸垂に至る局面では股関節の伸展トルクによる負の力学的仕事をなし、懸垂以降の上昇局面ではより早い時点から股関節の屈曲トルクと肩関節の伸展トルクを発揮する必要があることが示唆された。PB の指導の際には、こうしたことを考慮し、懸垂に至る局面で股関節が早く屈曲しないように伸展を維持し、懸垂以降股関節の屈曲（あふり）と同時に早い時点から肩関節の伸展（バーの引き）を行うことを考慮する必要があると考えられる。

5. まとめ

本研究は、平行棒における後方車輪の運動力学的特徴を鉄棒のそれと比較して分析した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・平行棒における後方車輪の実施時には、器具の高さの制限から懸垂時に膝関節を屈曲させる必要が生じるが、それは膝関節の角度変化、屈曲トルク、屈曲トルクパワー、関節でなさ

れた力学的仕事それぞれの値に明確に現れていた。これらは鉄棒における後方車輪の実施時には見られないものであった。

- ・懸垂に至る局面では、平行棒、鉄棒の後方車輪ともに股関節の伸展トルクが発揮され、負の力学的仕事が行なわれるが、鉄棒の後方車輪に比べて平行棒の後方車輪ではその出現時点が早かった。

- ・懸垂以降の上昇局面では、平行棒、鉄棒の後方車輪ともに股関節の屈曲トルク、肩関節の伸展トルクによる力学的仕事が行なわれていたが、肩関節の伸展トルクによって行なわれた仕事の大きさは、同じ局面で股関節屈曲トルクによって行なわれた仕事の3倍程度大きかった。

- ・懸垂以降の上昇局面において、平行棒における後方車輪の実施時には、鉄棒における後方車輪の実施時に比べ、肩関節伸展トルクによる力学的仕事はより大きくなされていた。これはトルクのピーク値の違いではなく、トルク発揮の時間が長いことによるものであった。

以上のことから、平行棒における後方車輪の実施時には、鉄棒における後方車輪の実施時に比べ、懸垂に至る局面で股関節の伸展、懸垂以降の上昇局面で股関節屈曲と早い時点から長期間にわたる肩関節伸展のための筋力発揮がより必要であることが示唆された。平行棒における後方車輪の指導の際には、鉄棒とは異なるこうした特徴を理解し、懸垂局面までは股関節角度を広く維持し、その後股関節の「あふり」を強く行うこと、肩関節の伸展動作である「バーの引き」と表現される動作を、懸垂局面の早い時点から強くかつ長く行うことを技術的なポイントとして把握することが、効率のよいトレーニングを実現させることにつながると思われる。

第3節 後方車輪と「後方車輪から後方かかえ込み2回宙返り腕支持(ベレー)」 の力学的比較

1. 目的

本研究は、ベレーと後方車輪の実施中に、特に倒立から離手までの局面において関節で発揮されるトルク、パワーの変化を両技間で比較することによって、ベレー実施の際の技術的ポイントをバイオメカニクス的に探ることを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

本研究の被験者は、平行棒における後方車輪（以下後方車輪）とベレーのどちらの技にも熟練している大学男子体操選手6名（年齢 19.2 ± 1.0 歳、身長 1.67 ± 0.05 m、体重 61.62 ± 4.12 kg、競技年数 12.8 ± 2.4 年）であった。

被験者には実験前に本実験の目的、方法を説明し、研究参加の同意を得た。

2) 撮影と分析

被験者に対し、まず後方車輪を、「倒立から振り下ろして再び倒立になる後方車輪を実施する」ことを課題として指示し、任意の練習の後、数回実施させた。ここでいう倒立とは、手関節を真下とし、手関節、肩関節、股関節、足先ができるだけ垂直線上にある姿勢のことを指す。試技の撮影は、平行棒の側方24mに設置したデジタルビデオカメラ（SONY, DCR-VX1000）により、毎秒60フィールド、露出時間1/500秒で行った。次に被験者に、ベレーを「倒立から振り下ろして後方にかかえ込み姿勢で2回宙返りし、再び平行棒上に腕支持となること」ことを課題として指示し、任意の練習の後、数回実施させた。試技の撮影は、後方車輪と同様に行った。後方車輪、ベレーともに、試技に先立って較正器を撮影した。また、後のデジタイズの際の助けとなるよう、被験者の手関節、肘関節、頭頂、大転子、膝関節、足関節、足先にはビニルテープと反射マーカーを貼付した。

撮影したビデオの分析は、第6章第2節2.2)と同様の方法でデジタイズし、平滑化した。その際の遮断周波数はX座標2.4~4.2Hz、Y座標2.4~4.2Hzであった。

3) 測定項目と測定法

第5章第2節2.3)と同様の方法で膝関節、股関節、肩関節の屈曲伸展角度、トルク、パワー、身体の回転角度、身体重心の速度を算出した。

なお、本研究では、身体の回転角度 90° までを倒立からの振り下ろし局面、身体の回転角度 90° から 150° までを懸垂に至る局面、身体の回転角度 150° から 210° までを懸垂局面、それ以降を身体が上昇する局面と定義づけた。

4) データ処理

第5章第2節2.4)と同様の方法で、関節トルク、パワーのデータについて、身体の回転角度 15° ごとの時点の値を算出した。

後方車輪とバーレの差の検定には、Wilcoxon の符号付順位検定を用い、有意水準を 5%、有意傾向を 10%とした。

3. 結果

1) 後方車輪とバーレの典型例

後方車輪の典型例として、1名の被験者について、図5.3.1にスティックピクチャーを示した。

図中の数字は離手までのフレーム数を示している。-48フレームから-24フレームまでが倒立からの振り下ろし局面、-21フレームから-18フレームまでが懸垂に至る局面、-15フレームから-9フレームまでが懸垂局面であり、-15フレームから-3フレームがいわゆる「あふり」と呼ばれる股関節屈曲と肩関節伸展動作の局面で、身体が上昇する局面を経て離手に至る。離手後、肩関節が屈曲、股関節が伸展されて、再び倒立位となる。

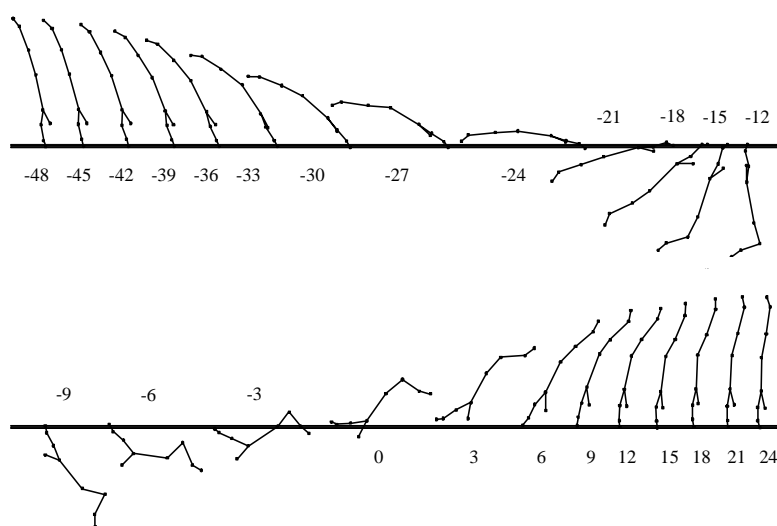


図 5.3.1 平行棒における後方車輪の典型例スティックピクチャー

数字は離手からのフレーム数を示す

一方バーレ実施の典型例として、1名の被験者について図 5.3.2 にスティックピクチャーを示した。

-45 フレームから-21 フレームまでが倒立からの振り下ろし局面、-18 フレームから-15 フレームまでが懸垂に至る局面、-12 フレームから-6 フレームまでが懸垂局面であり、-9 フレームから-3 フレームがいわゆる「あふり」と呼ばれる股関節屈曲と肩関節伸展動作の局面で、離手に至る。離手時の回転角度は後方車輪と比べてやや早い。離手後、後方車輪にみられるような肩関節屈曲と股関節伸展はみられず、そのままかかえ込み姿勢になって宙返りが行われ、離手から約1回半回転して腕支持懸垂となっている。

2) 離手時の身体の回転角度

離手時の身体の回転角度は、後方車輪で $300.82 \pm 10.61^\circ$ であったのに対し、バーレでは $272.16 \pm 6.22^\circ$ であり、バーレの方が後方車輪よりも有意に小さかった ($p < 0.05$)。

3) 身体重心の速度

図 5.3.3 は、後方車輪とバーレ実施時の身体重心の水平・鉛直方向の速度変化を被験者の平均値と標準偏差で示したものである。図中の縦破線は 90° ごとの身体の回転

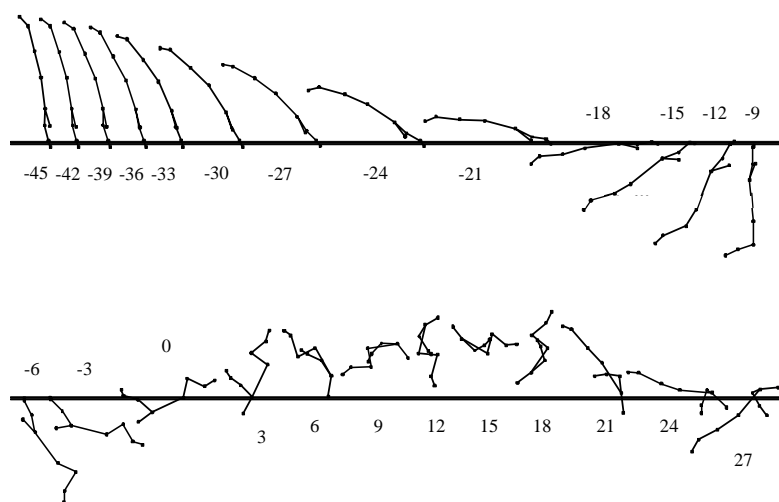


図 5.3.2 平行棒におけるバーレの典型例スティックピクチャー

数字は離手からのフレーム数を示す

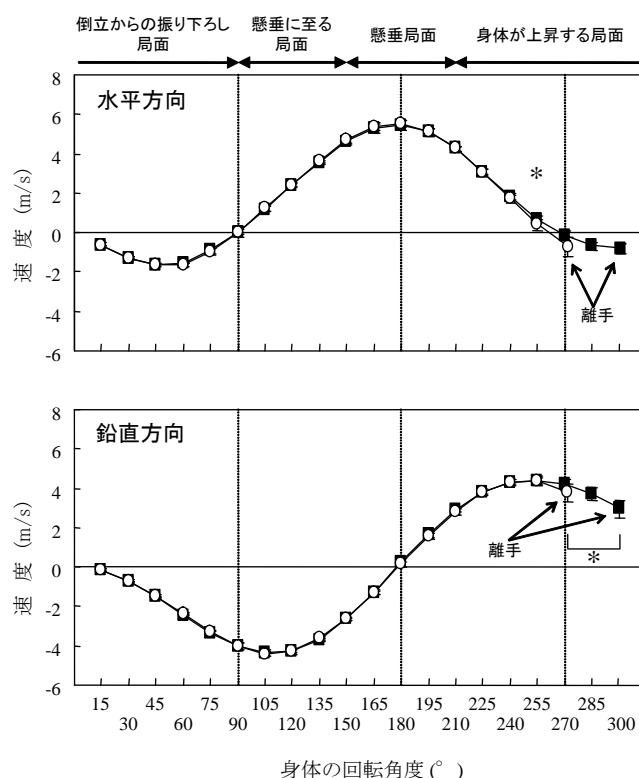


図 5.3.3 身体重心の速度変化

■ 後方車輪 (平均±SD) □ バーレ (平均±SD)

離手時の身体の回転角度は、後方車輪: $300.82 \pm 10.61^\circ$, バーレ: $272.16 \pm 6.22^\circ$

* : 後方車輪とバーレで有意差あり ($p < 0.05$)

角度を示している。

身体重心の速度については、水平・鉛直方向ともに後方車輪とベールで似通った変化を示したが、身体の回転角度が 255° 時点の水平方向の速度は後方車輪 (0.70±0.17m/s) の方がベール (0.40±0.27m/s) に比べて有意に大きく (p<0.05)、また離手時の鉛直方向の速度はベール (3.76±0.42m/s) の方が後方車輪 (2.95±0.45m/s) に比べて有意に大きかった (p<0.05)。

4) 関節角度

図 5.3.4 は、後方車輪とベール実施時の肩関節、股関節、膝関節角度の変化を被験者の平均値と標準偏差で示したものである。図中の縦破線は 90° ごとの身体の回転角度を示している。

膝関節角度については、離手までの局面で後方車輪とベールで差はなく、倒立からの振り下ろし局面で 180° 程度に保たれ、懸垂に至る局面で減少し、懸垂局面以降 90° 程度に維持されていた。しかしながら離手の時点で後方車輪 (107.94±29.15°) の方がベール (72.16±7.86°) に比べて大きな有意傾向が見られた (p<0.10)。

股関節角度については、後方車輪とベールともに倒立からの振り下ろし局面でやや減少した後わずかに増加し、懸垂局面の後半以降身体が上昇する局面で減少する似通った変化を示したが、後方車輪では大きく増加して離手に至るのに対して、ベールでは減少したまま離手に至っていた。身体の回転角度が 255° の時点(後方車輪:148.23±7.78°、ベール:129.80±6.76°)、離手の時点(後方車輪:201.19±9.74°、ベール

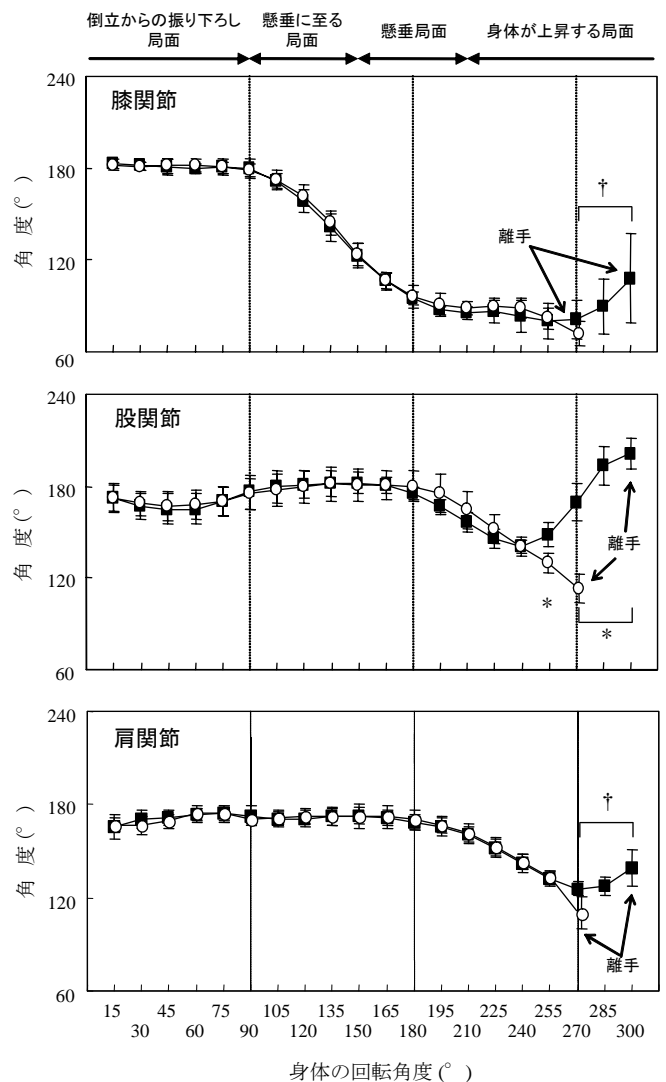


図 5.3.4 関節角度の変化

■ 後方車輪 (平均±SD) ○ ベール (平均±SD)

離手時の身体の回転角度は、後方車輪:300.82 ± 10.61°、ベール:272.16 ± 6.22°

†: 後方車輪とベールで有意傾向のある差あり (p<0.10)

*: 後方車輪とベールで有意差あり (p<0.05)

レ：113.44±9.28°）で後方車輪がベレーに比べて有意に大きな値を示した（ $p<0.05$ ）。

肩関節角度については、後方車輪とベレーともに懸垂局面前半まで180°程度に維持され、それ以降増加する似通った変化を示したが、後方車輪では離手に至るまでに減少しているのに対してベレーでは増加したままであり、離手の時点で後方車輪（139.14±11.45°）の方がベレー（110.31±9.96°）に比べて小さな有意傾向が見られた（ $p<0.10$ ）。

5) 関節トルク

図 5.3.5 は、後方車輪とベレー実施時の肩関節、股関節、膝関節で発揮されたトルクの変化を被験者の平均値と標準偏差で示したものである。図中の縦破線は90°ごとの身体の回転角度を示している。

膝関節で発揮されたトルクは、後方車輪とベレーで懸垂に至る局面から懸垂局面において負の値が増加する似通った変化を示した。しかしながら、後方車輪では負の値が減少し、わずかに正の値となって離手に至るのに対し、ベレーでは負の値のまま離手にいたっており、離手時点で後方車輪（0.13±0.12Nm/kg）とベレー（-0.1±0.12Nm/kg）の間に有意な差が認められた（ $p<0.05$ ）。

股関節で発揮されたトルクは、倒立からの振り下ろし局面で負のトルク、懸垂に至る局面から懸垂局面の前半で正のトルクが発揮され、懸垂局面の後半で負のトルクが発揮されることは後方車輪とベレーで共通していた。しかしながら、身体の回転角度が60°の時点で後方車輪（-0.22±0.11Nm/kg）に比べてベレー（-0.47±

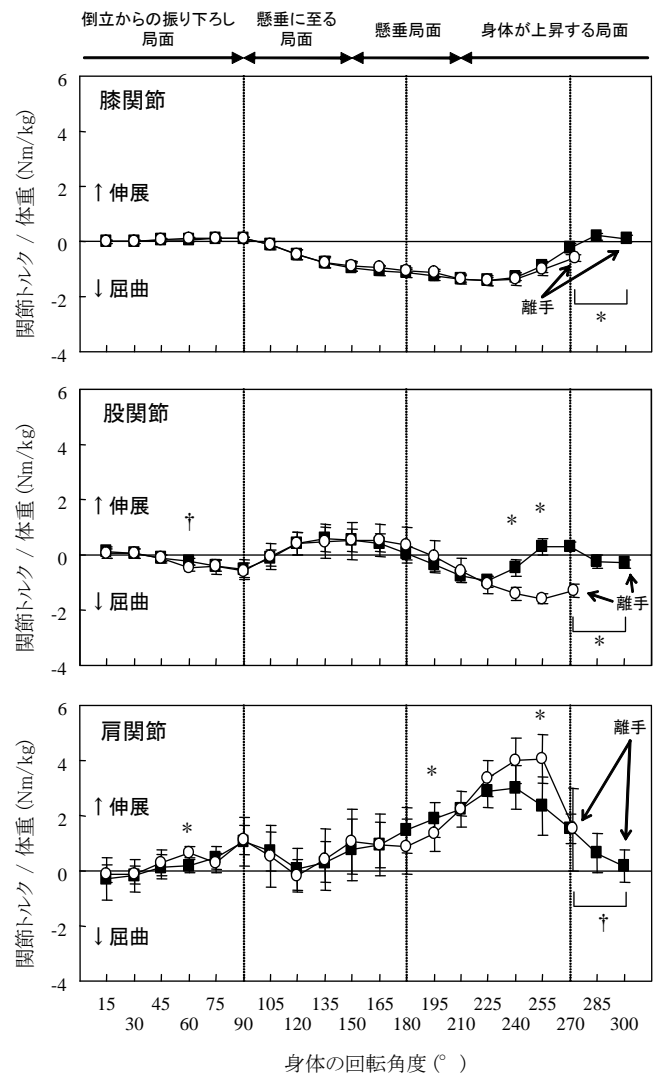


図 5.3.5 関節トルクの変化

■ 後方車輪 (平均±SD) ○ ベレー (平均±SD)

離手時の身体の回転角度は、後方車輪:300.82 ± 10.61° , ベレー:272.16 ± 6.22°

†: 後方車輪とベレーで有意傾向のある差あり ($p<0.10$)

*: 後方車輪とベレーで有意差あり ($p<0.05$)

0.13Nm/kg)の方が負の値が大きい有意傾向を示した ($p<0.10$)。また、身体の回転角度が 240° の時点で、バーレ ($-1.43\pm 0.23\text{Nm/kg}$)の方が後方車輪 ($-0.47\pm 0.29\text{Nm/kg}$)よりも大きな負の値を示し、身体の回転角度が 255° の時点では後方車輪 ($0.29\pm 0.29\text{Nm/kg}$)で正のトルクが發揮されているのに対して、バーレ ($-1.58\pm 0.17\text{Nm/kg}$)では負のトルクが發揮され、離手時にはバーレ ($-1.30\pm 0.24\text{Nm/kg}$)の方が後方車輪 ($-0.31\pm 0.15\text{Nm/kg}$)よりも大きな負の値を示し、それぞれ有意差が認められた ($p<0.05$)。身体が上昇する局面で各被験者が發揮した股関節トルクの負のピーク値は、後方車輪が $-0.99\pm 0.23\text{Nm/kg}$ であったのに対し、バーレでは $-1.60\pm 0.16\text{Nm/kg}$ であり、バーレが後方車輪よりも有意に大きな負の値を示した ($p<0.05$)。また、ピーク値が出現した時点の身体の回転角度は、後方車輪が $222.57\pm 6.40^\circ$ であったのに対し、バーレでは $251.29\pm 8.39^\circ$ で、バーレの方が有意に大きかった ($p<0.05$)。

肩関節で發揮されたトルクは、倒立からの振り下ろし局面で正の値がやや増加していったん減少し、懸垂局面から身体が上昇する局面で再び大きく増加することは後方車輪とバーレで共通していた。しかしながら身体の回転角度が 60° の時点でバーレ ($0.63\pm 0.25\text{Nm/kg}$)の方が後方車輪 ($0.20\pm 0.27\text{Nm/kg}$)よりも有意に大きな正の値を示した ($p<0.05$)。また、身体の回転角度が 195° の時点では後方車輪 ($1.86\pm 0.63\text{Nm/kg}$)の方がバーレ ($1.38\pm 0.65\text{Nm/kg}$)よりも有意に大きな値であり ($p<0.05$)、身体の回転角度が 255° の時点ではバーレ ($4.04\pm 0.89\text{Nm/kg}$)の方が後方車輪 ($2.33\pm 1.06\text{Nm/kg}$)よりも有意に大きな正の値を示していた ($p<0.05$)。さらに離手の時点では、後方車輪 ($0.19\pm 0.58\text{Nm/kg}$)に比べてバーレ ($1.50\pm 1.51\text{Nm/kg}$)の方が大きい有意傾向を示した ($p<0.10$)。懸垂局面から身体が上昇する局面での肩関節トルクのピーク値は、後方車輪が $3.18\pm 0.71\text{Nm/kg}$ であったのに対し、バーレでは $4.21\pm 0.95\text{Nm/kg}$ であり、両者の間に有意な差もしくは有意傾向のある差は認められなかった。しかし、ピーク値が出現した時点の身体の回転角度は、後方車輪が $236.57\pm 12.05^\circ$ であったのに対し、バーレでは $247.21\pm 6.28^\circ$ で、バーレが後方車輪に比べて大きな有意傾向が認められた ($p<0.10$)。

6) 関節パワー

図 5.3.6 は、後方車輪とバーレ実施時の肩関節、股関節、膝関節で發揮されたパワーの変化を被験者の平均値と標準偏差で示したものである。図中の縦破線は 90° ほどの身体の回転角度を示している。

膝関節で発揮されたパワーは、後方車輪とベールですべての局面で同じような変化を示した。すなわち、懸垂に至る局面以降正のパワーが発揮され、懸垂局面後半で減少していた。すべての時点で後方車輪とベールに差は見られなかった。

股関節で発揮されたパワーは、懸垂局面前半まではほぼ0で、懸垂局面の後半から身体が上昇する局面で増加する点は後方車輪とベールで共通していた。しかしながら、後方車輪では増加した股関節パワーの値が減少して離手に至るのに対して、ベールでは股関節パワーはほぼ維持されたまま離手に至っていた。身体の回転角度が225°（後方車輪:2.67±0.82W/kg、ベール:4.00±0.83W/kg、p<0.10）、240°（後方車輪:0.14±0.72W/kg、ベール:4.75±1.41W/kg、p<0.05）、255°（後方車輪:1.50±1.54W/kg、ベール:4.60±1.97W/kg、p<0.10）、離手（後方車輪:-0.44±0.72W/kg、ベール:4.84±0.511W/kg、p<0.05）それぞれの時点で、ベールの方が後方車輪よりも大きな正のパ

ワーが発揮されており、有意差もしくは有意傾向のある差が認められた。懸垂局面後半から身体が上昇する局面で各被験者が発揮した股関節屈曲トルクによるパワーのピーク値は、後方車輪が3.33±1.11W/kgであったのに対し、ベールでは5.62±1.07W/kgであり、ベールが後方車輪よりも有意に大きかった（p<0.05）。また、股関節屈曲トルクによるパワーのピーク値が出現した時点の身体の回転角度は、後方車輪が218.03±4.04°であったのに対し、ベールでは262.40±10.07°で、ベールが後方車輪に比べて有意に大きかった（p<0.05）。

肩関節で発揮されたパワーは、懸垂局面前半まではほぼ0で、懸垂局面後半から身体が上昇する局面で大きく増加する点は後方車輪とベールで共通していた。しかしながら、身体の回

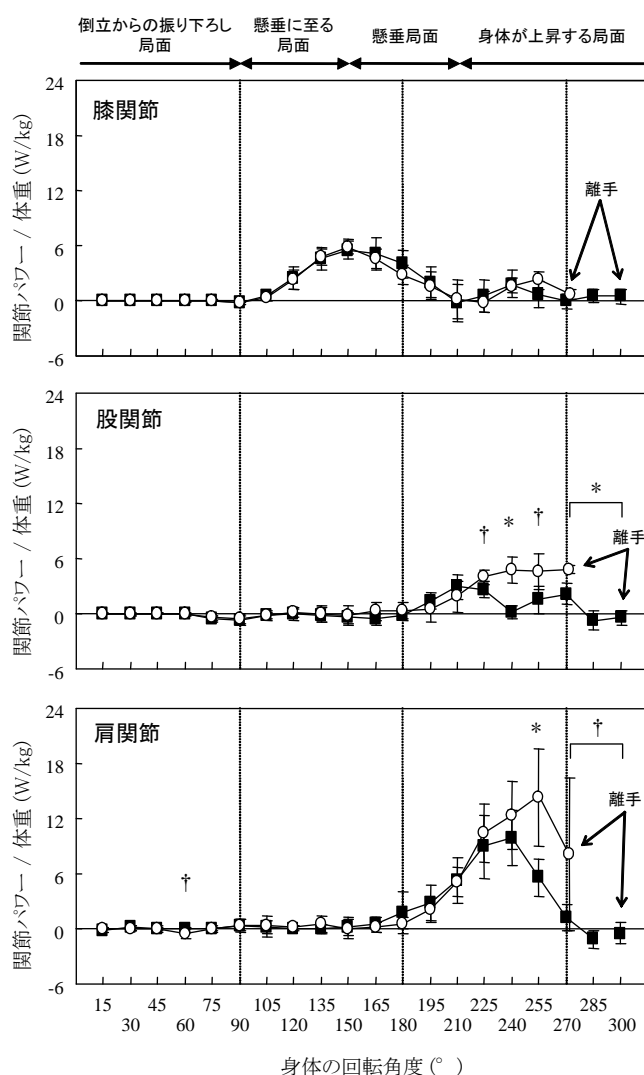


図 5.3.6 関節パワーの変化

■ 後方車輪 (平均±SD) ○ ベール (平均±SD)

離手時の身体の回転角度は、後方車輪:300.82 ± 10.61° , ベール:272.16 ± 6.22°

†:後方車輪とベールで有意傾向のある差あり (p<0.10)

*:後方車輪とベールで有意差あり (p<0.05)

転角度が 60° の時点でバーレ ($-0.46 \pm 0.55 \text{W/kg}$) において後方車輪 ($-0.04 \pm 0.25 \text{W/kg}$) に比べて大きな負の肩関節パワーが発揮されており、有意傾向のある差が見られた ($p < 0.10$)。さらに、後方車輪では増加した肩関節パワーの値が大きく減少して離手に至るのに対し、バーレでは肩関節パワーの減少が後方車輪に比べて小さく離手に至っており、身体の回転角度が 255° の時点でバーレ ($14.34 \pm 5.28 \text{W/kg}$) の方が後方車輪 ($5.59 \pm 1.98 \text{W/kg}$) に比べて有意に大きな値を示し ($p < 0.05$)、離手の時点ではバーレ ($8.14 \pm 8.35 \text{W/kg}$) の方が後方車輪 ($-0.47 \pm 1.19 \text{W/kg}$) よりも大きな有意傾向が認められた ($p < 0.10$)。懸垂から上昇する局面で各被験者が発揮した肩関節パワーのピーク値は、後方車輪が $10.28 \pm 3.38 \text{W/kg}$ であったのに対し、バーレでは $15.95 \pm 4.04 \text{W/kg}$ であり、バーレが後方車輪に比べて大きな有意傾向が認められた ($p < 0.10$)。また、ピーク値が出現した時点の身体の回転角度は、後方車輪が $235.30 \pm 5.74^\circ$ であったのに対し、バーレでは $258.56 \pm 11.91^\circ$ で、バーレが後方車輪に比べて有意に大きかった ($p < 0.05$)。

4. 考察

平行棒における後方車輪と類似した形態をもつ鉄棒の後方車輪について、矢部ら (1987) は、支持点の摩擦抵抗や空気抵抗によって失われた力学的エネルギーの補填は、股関節屈曲と肩関節伸展によって発揮されるパワーによってなされることを報告している。平行棒における後方車輪においても、その実施のために股関節屈曲と肩関節伸展動作が重要であり、特に身体が上昇する局面で、鉄棒における後方車輪に比べ、より大きな股関節屈曲と肩関節伸展の筋力発揮が必要であることが明らかにされている (土屋と田中、2004)。鉄棒における後方車輪実施時のこうした股関節屈曲と肩関節伸展の動作は、体操競技のトレーニング現場で「あふり」と呼ばれ、平行棒における股関節屈曲動作は「あふり」、肩関節伸展動作は「わきのしぼり」あるいは「バーの引き」と呼ばれている。平行棒における後方車輪は、バーを内側から握っているため、身体の上昇局面で再び倒立位に至る際に手の握り換えが必要となり、身体をバーの上方に浮き上がらせてバーから手を離さなければならない運動課題があり、これが鉄棒に比べ平行棒の後方車輪において「あふり」と「バーの引き」でより大きな筋力発揮が必要とされる理由であると考えられる。

一方バーレは、後方車輪に回転を加えた発展技であり、後方車輪から約 1.5 回宙返りを行って再び腕支持になる技である。後方車輪に引き続いてかかえ込み姿勢で宙返りを行うため、後方車輪で倒立に至る際に必要な股関節の伸展と肩関節の屈曲といった身体操作が見られな

い。また、結果で示したように、ベレーでは後方車輪に比べて約 30° 回転の早い時点で平行棒のバーから手が離れる。後方車輪から宙返りを行うこと、早い時点で離手に至ることで、ベレーでは後方車輪とは異なる筋力発揮の仕方が必要になると思われる。

膝関節は、後方車輪実施時には、懸垂局面で屈曲され、身体が上昇する局面から離手時において、再び倒立位になるために伸展される。トルクとパワーの発揮パターンもこうした動作を反映していた。これに対してベレー実施時の膝関節屈曲トルクの実績は、懸垂局面までは後方車輪とほぼ共通していたが、かかえ込み体勢のまま離手に至るため、離手の時点ではベレーの方が膝関節角度が小さく、屈曲トルクが発揮されていた。

股関節についてみると、後方車輪実施時には、懸垂に至る局面から懸垂局面前半で伸展トルクが発揮されてから、懸垂局面後半以降身体が上昇する局面では屈曲トルクが発揮され、再び伸展トルクが発揮される。股関節トルクの符号から、後方車輪では懸垂局面以降、股関節屈曲トルクによる正のパワーが発揮された後、股関節伸展トルクによる正のパワーが発揮されて離手に至っていることがわかる。このうち股関節屈曲トルクによる正のパワー発揮は、後方車輪回転のための仕事をなす「あふり」動作によるものであり、続く股関節伸展トルクによる正のパワー発揮は、後方車輪回転の勢いを止めて身体をバーの上方に浮き上がらせ再び倒立位におさめるための、トレーニングの現場で「あて」といわれる身体操作によるものであると考えられる。一方ベレー実施時の股関節の角度、トルク、パワーの動態は、懸垂局面までは後方車輪と類似していたが、身体が上昇する局面では後方車輪と異なっていた。ベレーでは股関節角度が減少して離手に至っており、股関節屈曲トルクが離手の寸前まで増加し続けていた。また、ベレーにおいては後方車輪にみられた「あて」のための股関節伸展トルクの実績とそれによる正のパワー発揮がなされず、懸垂局面以降離手まで股関節屈曲トルクによる正のパワーが発揮され続けていた。その大きさも、離手前の屈曲トルクのピーク値は後方車輪の約 1.6 倍であり、股関節屈曲トルクによるパワーのピーク値も、後方車輪の約 1.7 倍と、後方車輪に比べて大きかった。さらに股関節屈曲トルクのピーク値が出現する時点の身体の回転角度は、後方車輪が 220° 付近であったのに比べてベレーでは 30° 程遅かった。また股関節屈曲トルクによるパワーのピーク値が出現する時点の身体の回転角度は、後方車輪では 220° 付近であったが、ベレーでは 260° 付近であった。こうした結果から、後方車輪では「あふり」と呼ばれる股関節の屈曲動作を、身体がバーの握りの真下を過ぎてから約 60° 回転する時点まで行った後、股関節の伸展、すなわち「あて」と呼ばれる身体動作を行う必要があるが、ベレーでは「あふり」を続けるようにして、なおかつ後方車輪よりも

遅い時点で「あふり」動作を後方車輪のとき以上に強く行い離手に至るようにすることが技術的なポイントとして考えられる。

さらに、バーレの離手時の身体重心まわりの角運動量と股関節トルクやパワーとの関係を検討した研究（土屋と田中,2004）では、離手時の身体重心まわりの角運動量の大きさは股関節屈曲トルクのピーク値と有意な相関関係にあり、股関節の「あふり」の力強さを強調する指導がなされる必要があることが示されている。このことから、バーレ実施時の股関節の「あふり」動作の強さがトレーニングの現場において強調されることが重要であると考えられる。

肩関節では、後方車輪実施時には懸垂局面以降伸展トルクが徐々に増加していわゆる「バーの引き」がなされ、懸垂から身体が上昇を始める局面で伸展トルクの最大値を示した後に低下して、0に近い値で離手に至っていた。これに対してバーレでは、懸垂局面以降、離手に至るまで伸展トルクが発揮されている点は後方車輪と共通していたが、身体がバーの握りの真下を通過する付近でその増加が一度停滞し、懸垂局面後半から再び大きく増加してピーク値を示し、その後低下するものの後方車輪に比べて大きな値で離手していた。肩関節伸展トルクによるパワーの発揮動態も、後方車輪に比べてバーレでは増加の立ち上がりがやや遅い特徴がみられた。肩関節で発揮された伸展トルクのピーク値は、バーレが後方車輪に比べて約1.3倍大きく、パワーのピーク値は、バーレが後方車輪の約1.6倍であった。また肩関節伸展トルクのピーク値が出現する時点の身体の回転角度は、後方車輪が235°付近であったのに比べてバーレでは10°程遅く、また肩関節伸展トルクによるパワーのピーク値の出現も、後方車輪が235°付近であったのに比べてバーレでは20°程遅かった。肩関節トルクの動態に見られる懸垂局面での増加の停滞、あるいはパワー増加の立ち上がりの遅さは、後方車輪に比べてやや遅い時点でなおかつより大きくそのピーク値を発揮するための「待ち」、あるいはそのための「ため」であると思われる。こうした「待ち」あるいは「ため」を行うことによって、より離手に近い時点で大きなトルクとパワーの発揮を可能にしていると思われる。肩関節伸展動作は「バーの引き」といわれる動作であるが、バーレでは後方車輪と同様握りの真下を身体が通過する直前からこの「バーの引き」が行われるものの、強い「バーの引き」は、握りの真下を身体が通過するまで待ち、後方車輪よりも遅い時点で、できるだけ離手に近い時点で強く行うことが技術的なポイントとして考えられる。

さらに、バーレの離手時の身体重心まわりの角運動量の大きさと肩関節で発揮されたトルクやパワーとの関係を検討した研究（土屋と田中,2004）では、離手時の身体重心まわりの

角運動量の大きさは肩関節伸展パワーのピーク値と有意な相関関係にあることが示されている。このことから、バーレ実施時の肩関節伸展による「バーの引き」動作を強く行うことがトレーニングの現場において強調されることが重要であると考えられる。

バーレにおいて、離手後の宙返りの回転を速くし、再び腕支持に至る際にかかえ込み体勢の開きをみせて余裕のあるパフォーマンスの実施を可能にするうえでも、「あふり」を後方車輪以上に強く行うこと、「あふり」と「バーの引き」を最も強く行う時点を後方車輪に比べてやや遅くすることが重要であると考えられる。

5. まとめ

本研究の目的は、平行棒における後方車輪とバーレの実施中に関節で発揮されるトルク、パワーの変化を比較することによって、バーレ実施時の技術的ポイントをバイオメカニクス的に探ることであった。6名の選手を対象とした実験の結果、以下のことが明らかとなった。

- ・バーレは後方車輪に比べて約 30° 回転の早い時点で離手していた。
- ・膝関節は後方車輪とバーレともに懸垂局面で屈曲されるが、後方車輪で伸展しながら離手に至るのに対して、バーレでは屈曲されたまま離手に至っていた。バーレではかかえ込み姿勢で宙返りを行うので、こうした差は当然のことと思われる。
- ・離手前の股関節屈曲トルクとそれによるパワーのピーク値は、バーレ実施時に後方車輪のそれぞれ約 1.6 倍、約 1.7 倍であった。さらに股関節屈曲トルクとそれによるパワーのピーク値の出現時点は、バーレの方が遅かった。股関節屈曲動作は「あふり」といわれる動作であるが、バーレ実施の際には、後方車輪実施時にみられる「あふり」後の股関節伸展動作である「あて」といわれる身体動作を行わず、「あふり」を続けるようにして、なおかつ後方車輪よりも遅い時点で「あふり」動作を後方車輪のとき以上に強く行って離手に至ることが技術的なポイントとして考えられる。
- ・肩関節で発揮された伸展トルクとそれによるパワーのピーク値は、バーレ実施時に後方車輪のそれぞれ約 1.3 倍、約 1.6 倍であった。さらにそれらの出現時点はバーレ実施時のほうが遅く、離手に近い時点でなされていた。肩関節伸展動作は「バーの引き」といわれる動作であるが、バーレでは強い「バーの引き」は、握りの真下を身体が通過するまで待ち、できるだけ離手に近い時点で行うことが技術的ポイントとして考えられた。

第4節 「後方車輪からかかえ込み2回宙返り腕支持（バーレ）」のパフォーマンスに影響を与える力学的要因

1. 目的

本研究では、競技会におけるバーレを分析対象として、まずバーレの運動力学的な特徴を明らかにする。さらにその宙返りの高さを離手時の身体重心の高さと共に決定する離手時の身体重心の鉛直速度と、宙返りの回転姿勢と回転速度を決定する離手時の身体重心まわりの角運動量が、宙返りにいたる後方車輪中、特に指導書で指摘されている「あふり」と「わきのしぼり」に関連した関節で発揮されるトルク、パワーとどのような関係にあるのかを明らかにする。

2. 方法

1) 被験者

本研究の被験者は、2002年全日本体操競技選手権大会に出場し、バーレを実施した選手38名（身長 1.65 ± 0.05 m、体重 59.16 ± 4.05 kg）であった。各選手に本研究の目的と方法を説明したうえで演技のビデオ撮影と本研究の被験者となることの同意を得た。

2) 撮影と分析

彼らの競技会中の平行棒の演技を、平行棒の側方12mに設置したデジタルビデオカメラ（SONY, DCR-TRV900）により、毎秒60フィールド、露出時間1/250秒で撮影した。

撮影した各被験者のバーレについて、第5章第2節2.2)と同様の方法でデジタル化し、平滑化した。その際の遮断周波数はX座標2.4~4.2Hz、Y座標2.7~4.2Hzであった

3) 測定項目と測定法

第5章第2節2.3)と同様の方法で膝関節、股関節、肩関節の屈曲伸展角度、トルク、パワー、身体の回転角度、身体重心の速度を算出した。また、Hayら（1977）の方法によって身体重心まわりの角運動量を算出し、被験者の身長²乗と体重の積で除し、標準化した（Hinrichsら,1983）。

離手時の身体重心の鉛直速度と身体重心まわりの角運動量が、後方車輪中に関節で発揮さ

れるトルク、パワーとどのような関係にあるのかを明らかにするために、従属変数として離手時の身体重心の鉛直速度と身体重心まわりの角運動量を、説明変数として宙返りに至る後方車輪実施時の股関節屈曲トルクのピーク値、肩関節伸展トルクのピーク値、股関節パワーのピーク値、肩関節パワーのピーク値を算出した。

4) データ処理

従属変数と説明変数の関連の検討にはピアソンの相関係数を算出し、有意水準を 5%とした。

3. 結果

1) ベーレの典型例

ベーレ実施の典型例として 1 名の被験者について、図 5.4.1 にスティックピクチャーを、図 5.4.2 に後方車輪の開始から離手までの後方車輪中の身体重心の鉛直速度、図 5.4.3 に標準化していない身体重心まわりの角運動量、図 5.4.4 に肩・股関節トルク、図 5.4.5 に肩・股関節パワーをそれぞれ示した。宙返りに至る後方車輪中のこうした変数の変化パターンは、各

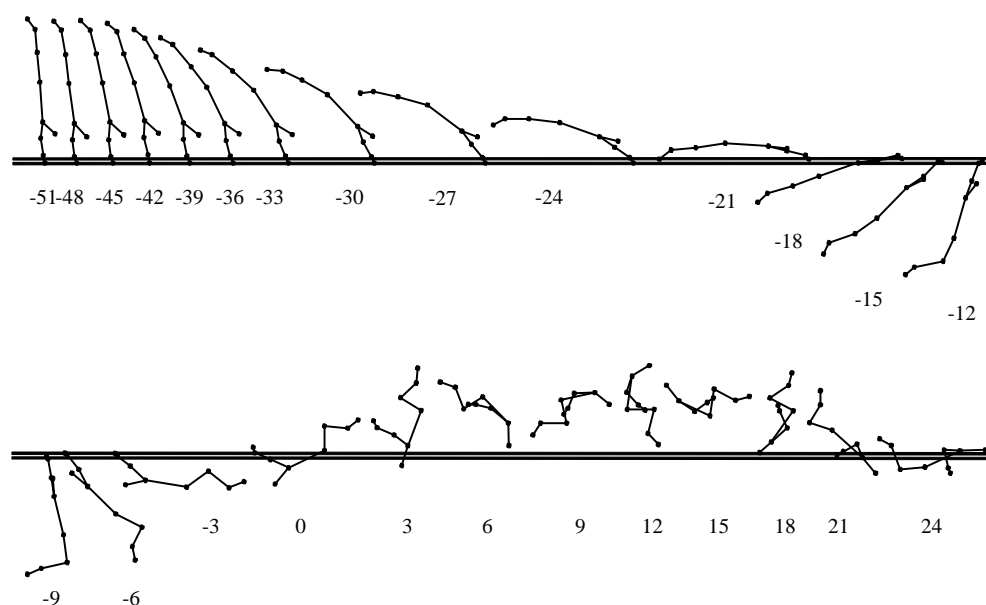


図 5.4.1 ベーレの典型例スティックピクチャー

Numbers indicates the frame differences from the release

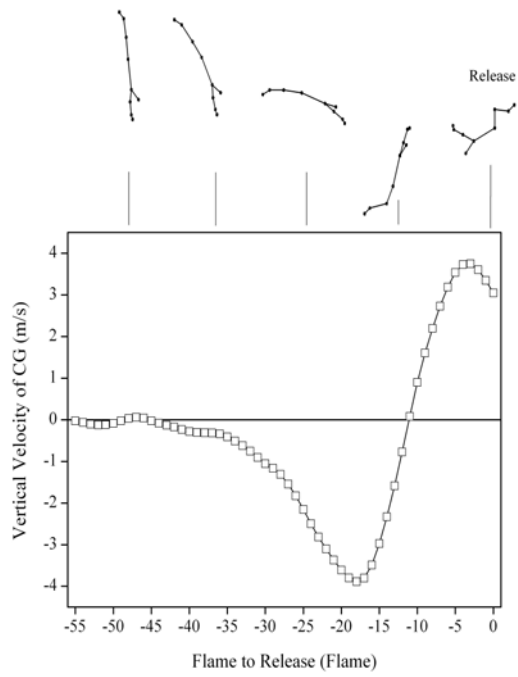


図 5.4.2 身体重心の水平速度変化の典型例

□: Vertical velocity of CG

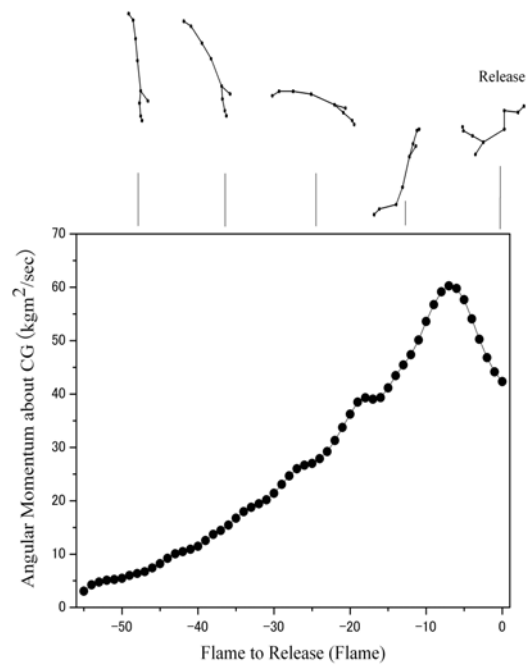


図 5.4.3 身体重心まわりの角運動量変化の典型例

●: Angular momentum about CG

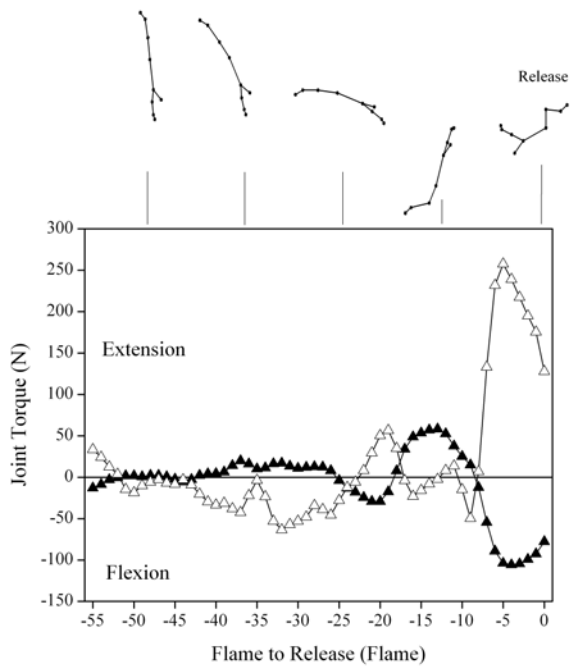


図 5.4.4 関節トルク変化の典型例

▲: Hip joint △: Shoulder joint

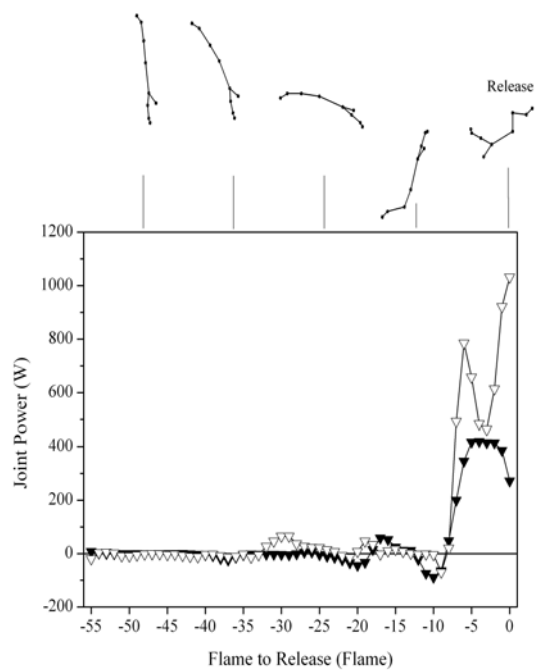


図 5.4.5 関節パワー変化の典型例

▼: Hip joint ▽: Shoulder joint

被験者について共通した特徴を示していた。すなわち、身体重心の鉛直速度は、後方車輪で倒立からの振り下ろしから懸垂姿勢に至る局面で負の値を示して最低値を示した後に、懸垂からの上昇局面で増加し、正の最大値を示した後、やや低下してから離手に至っていた（離手時の値： $3.21 \pm 0.27 \text{m/s}$ ）。身体重心まわりの角運動量については、倒立からの振り下ろしから一様に増加し、最大値を示した後に低下してから離手に至っていた（標準化後の離手時の値： $0.22 \pm 0.02/\text{s}$ ）。股関節トルクは、懸垂の前後で伸展トルク（正）が発揮され、その後屈曲トルク（負）が発揮されて負のピーク（ $-1.38 \pm 0.20 \text{N/kg}$ ）を示した後、屈曲トルクの値が小さくなって離手に至っていた。肩関節トルクは懸垂後身体の上昇局面で大きな伸展トルクが発揮され、正のピーク（ $4.25 \pm 0.61 \text{N/kg}$ ）を示した後低下して離手に至っていた。肩関節伸展トルクの大きさは、股関節屈曲トルクの大きさに比べて 2~3 倍程度大きかった。股関節パワーは、懸垂後身体の上昇局面において正のパワーが発揮されてピーク（ $6.25 \pm 1.16 \text{W/kg}$ ）を示した後低下して離手に至っていた。肩関節パワーも、懸垂後身体の上昇局面において正のパワーが発揮されピーク（ $12.24 \pm 3.43 \text{W/kg}$ ）と同時もしくはピーク後に離手に至っていた。肩関節で発揮されたピークパワーの値は、股関節のそれに比べて 2 倍程度大きかった。

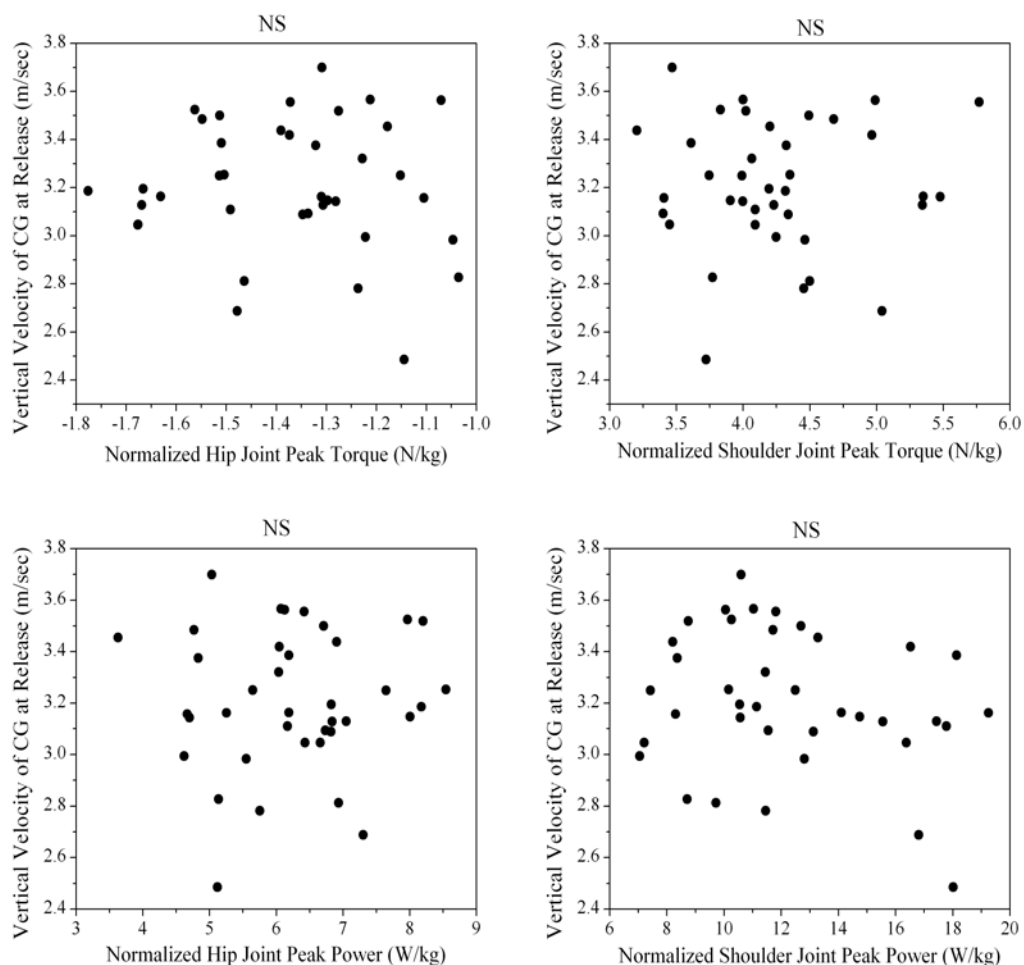


図 5.4.6 離手時の身体重心の鉛直速度と力学的変数との関係

2) 離手時の身体重心の鉛直速度と各変数の関係

図 5.4.6 に離手時の身体重心の鉛直速度と宙返りに至る後方車輪実施時の股関節屈曲トルク、肩関節伸展トルク、股関節パワー、肩関節パワーそれぞれのピーク値との関係を示した。各関節のトルク、パワーのピーク値は、離手時の身体重心の鉛直速度と有意な相関関係はみられなかった。

3) 離手時の身体重心まわりの角運動量と各変数の関係

図 5.4.7 は、離手時の身体重心まわりの角運動量と宙返りに至る後方車輪実施時の股関節屈曲トルク、肩関節伸展トルク、股関節パワー、肩関節パワーそれぞれのピーク値との関係を示したものである。離手時の身体重心まわりの角運動量と有意な相関関係にあったのは、

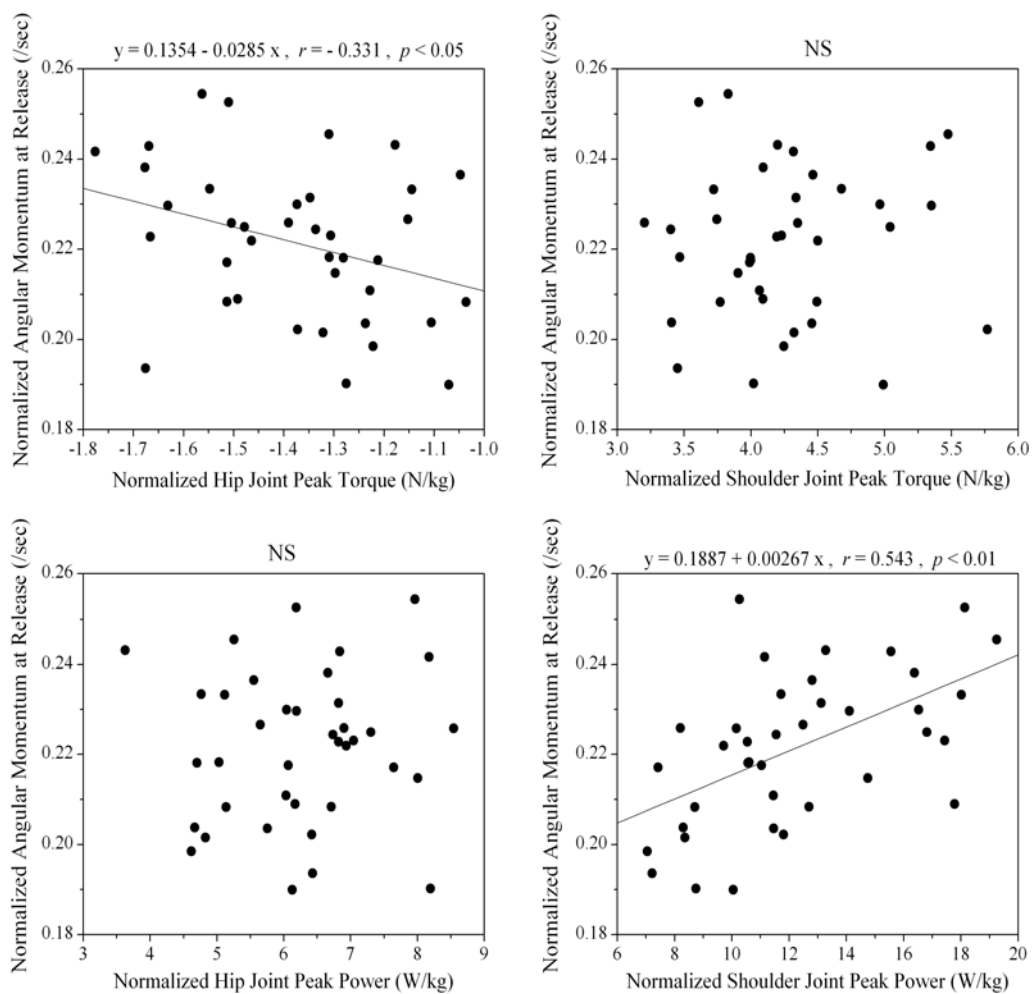


図 5.4.7 離手時の身体重心まわりの角運動量と力学的変数との関係

股関節屈曲トルクのピーク値 ($r=-0.331$ 、 $p<0.05$)、肩関節パワーのピーク値 ($r=0.543$ 、 $p<0.01$) であった。

4. 考察

体操競技における技の実施には、「完全な終末姿勢、あるいは熟練した実施」(財団法人日本体操協会,2001) が求められる。バーレにおける「完全な終末局面」とは、「かかえ込み姿勢を開いて腕支持に至ること」(財団法人日本体操協会,2002) であり、習熟した実施では、宙返りに至る後方車輪では姿勢欠点(不必要な関節の曲がり)がなく、宙返りは高さがあり、明確なかかえ込み姿勢を示すことが要求される。このうち宙返りの高さは、離手時の身体重心の高さとその鉛直速度に依存する。一方、明確なかかえ込み姿勢を示した後に身体を開くといった回転の姿勢と回転速度は、離手時の身体重心まわりの角運動量に依存する。

本研究では、ベレー実施の際の運動力学的な特徴を把握したうえで、宙返り離手時の身体重心の鉛直速度と身体重心まわりの角運動量が、離手に至る後方車輪時に発揮される関節トルクと関節パワーとどのような関係にあるのかを探ることを目的とした。特に本研究では、「あふり」、「わきのしぼり」と呼ばれる股関節の屈曲と肩関節の伸展のトルクおよびパワーに注目した。

ベレー実施の際の運動力学的な特徴は、典型例で示したように、倒立からの振り下ろしから懸垂姿勢に至る局面で身体は鉛直下向きの速度を増加させ、懸垂局面以降身体が上昇する局面で鉛直上向きの速度をもつ。後方車輪は手の握りを中心とした回転運動であるので、身体重心のこうした速度変化は容易に理解できるが、懸垂局面以降重力に逆らって身体を上昇させる必要があり、これが、鉄棒における後方車輪においても指摘されている(矢部ら,1987)。「あふり」や「肩の引き」といわれる股関節の屈曲と肩関節の伸展によって発揮されたパワーによって可能となっていることが本研究の結果からもうかがえる。また、ベレー実施の際に宙返りに至る後方車輪で発揮される肩関節伸展トルクは、股関節屈曲トルクに比較して2~3倍程度大きく、パワーも肩関節で発揮された値は股関節に比べて2倍程度大きかった。このことは、肩関節の伸展トルクとパワーの発揮がこの技の実施において重要な役割を果たしていることを示しており、肩関節伸展筋群の筋力・パワー獲得のためのトレーニングが充分になされる必要があることを示唆していると考えられる。

離手時の身体重心の鉛直速度と、宙返りに至る後方車輪実施時の股関節屈曲トルク、肩関節伸展トルク、股関節パワー、肩関節パワーそれぞれのピーク値は、いずれも有意な相関関係が認められなかった。この結果は、本研究で取り上げた後方車輪実施時の運動力学的変数は、宙返りの離手時の鉛直速度には大きな影響を与えないことを示している。平行棒における後方車輪の実施時には、鉄棒のそれとは異なり、懸垂時に膝を曲げること、両腕をそれぞれ回内させて両棒を握ること、さらには回転の後半で手を離して再び棒を握ることが必要とされる。こうした運動課題のために、車輪の回転を加速させることが鉄棒に比べて困難となる。車輪の回転速度が大きくなれば、宙返りの離手時に身体重心がもつ鉛直速度が大きくなることは自明である。一方で、回転速度を大きくすることが困難な条件をもつ平行棒の後方車輪では、選手間で後方車輪の回転速度が大きく異なることがないことが予想され、それが本研究の結果に現れていると考えられる。宙返りの高さに影響を与える宙返りの離手時の身体重心の高さについて、これに影響を与える身体操作や筋力発揮についての検討が必要であろう。

離手時の身体重心まわりの角運動量は、股関節屈曲トルクのピーク値と負の有意な相関関係にあった。本研究では股関節トルクは伸展方向を正としているので、股関節の屈曲トルクのピーク値は負の値を示した。これが離手時の角運動量と負の相関関係にあるということは、股関節屈曲トルクが大きいほど離手時の身体重心まわりの角運動量が大きいことを示している。つまり、離手時に大きな角運動量を得るうえで、股関節の屈曲トルクを大きく発揮することが必要であることが示唆される。すでに述べたように、懸垂局面以降の股関節の屈曲は「あふり」と呼ばれており、トレーニングの現場では、バーレの宙返りの際に大きな角運動量を得るために、この「あふり」の力強さを強調する指導がなされる必要がある。

また、離手時の身体重心まわりの角運動量は、肩関節伸展パワーのピーク値と正の有意な相関関係にあった。肩関節パワーは、肩関節トルクと肩関節角速度との積で求められるので、トルクを大きくすることと角速度を高めることのどちらかあるいはその両方によってパワーを増大させることができる。肩関節トルクのピーク値とバーレの離手時の角運動量とは有意な相関関係がみられなかったことから、離手時の角運動量の増大には、肩関節で発揮されるトルクを大きくすること以上に肩関節の伸展をすばやくすることが重要であると考えられる。バーレの典型例で示したように、肩関節で発揮されるパワーのピークは、宙返りに至る離手とほぼ同時に示される。したがって、バーレの指導においては、離手まで肩関節の伸展をすばやく行うことを強調する必要がある。また、単に大きな筋力を発揮するだけでなく、すばやく肩関節を伸展させる高いパワー発揮を目指したトレーニングが行われることも重要である。

5. まとめ

本研究は、現在多くの選手が実施している平行棒の「バーレ」について、その運動力学的な特徴をとらえ、その出来栄えに影響を与えると考えられる離手時の身体重心の鉛直速度と身体重心まわりの角運動量が、宙返りにいたる後方車輪中、関節で発揮されるトルク、パワーとどのような関係にあるのかを明らかにすることによって、優れたバーレの実施を可能にする運動技術をバイオメカニクスの探ることを目的とした。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・バーレ実施の際に宙返りに至る後方車輪で発揮される肩関節伸展トルクの大きさは、股関節屈曲トルクの大きさに比べて 2～3 倍程度大きく、パワーも肩関節で発揮された値は股関節に比べて約 2 倍大きかった。このことは、肩関節の伸展トルクとパワーの発揮がこの技の

実施において重要な役割を果たしていることを示しており、特に肩関節伸展筋群の筋力獲得トレーニングが充分になされる必要があることを示していると考えられる。

- ・離手時の身体重心の鉛直速度と、宙返りに至る後方車輪実施時の股関節屈曲トルク、肩関節伸展トルク、股関節パワー、肩関節パワーそれぞれのピーク値とは、いずれも有意な相関関係が認められなかった。宙返りの高さに影響を与える宙返りの離手時の身体重心の速度について、これに影響を与える身体操作や筋力発揮についての検討が必要であろう。

- ・離手時の身体重心まわりの角運動量は、股関節屈曲トルクのピーク値と有意な相関関係にあった。このことは、指導の現場では股関節の「あふり」の力強さを強調する必要があることを示していると考えられる。

- ・離手時の身体重心まわりの角運動量は、肩関節伸展パワーのピーク値と有意な相関関係にあった。単に大きな筋力を発揮するだけでなく、すばやく肩関節を伸展させて高いパワーを発揮させる身体操作の指導とそのためのトレーニングが行われる必要があるであろう。

第5節 「後方車輪から後方かかえ込み2回宙返り腕支持」と「後方車輪から後方屈身2回宙返り腕支持」の力学的比較

1. 目的

本研究では、競技会におけるバーレと屈身バーレの実施を分析対象として、両者の運動技術の類似点と差異をバイオメカニクスの探ることを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

本研究の被験者は、2003年全日本体操競技選手権大会に出場し、バーレ（以下TB）と屈身バーレ（以下PB）の両方を実施した選手12名（身長 1.61 ± 0.04 m、体重 58.54 ± 3.97 kg）であった。

各選手に本研究の目的と方法を説明したうえで演技のビデオ撮影と本研究の被験者となることの同意を得た。

2) 撮影と分析

彼らの競技会中の平行棒の演技を、平行棒の側方12mに設置したデジタルビデオカメラ（SONY,DCR-TRV900）により、毎秒60フィールド、露出時間1/250秒で撮影した。

撮影した各被験者のTB、PBについて、第5章第2節2.2)と同様の方法でデジタル化し、平滑化した。その際の遮断周波数はX座標2.4~4.2Hz、Y座標2.7~4.3Hzであった。

3) 測定項目と測定法

第5章第2節2.3)と同様の方法で膝関節、股関節、肩関節の屈曲伸展角度、トルク、パワー、回転角度、身体重心の速度を算出した。また、Hayら（1977）の方法によって身体重心まわりの角運動量を算出し、被験者の身長²と体重の積で除し、標準化した（Hinrichsら,1983）。

4) データ処理

各被験者の動作には時間的な差異があるので、比較を容易にするために、算出した関節ト

ルク、パワーのデータについて、3次のスプライン関数（玄,1986）を用いてRA15°ごとの時点の値を算出した。

TBとPBの差の検定には、Wilcoxonの符号付順位検定を用い、有意水準を5%、有意傾向を10%とした。

3. 結果

1) 離手時の変数

表 5.5.1 に、TBとPB実施時の、宙返りに至る離手時の身体重心の速度と、身体重心まわりの角運動量について、各被験者の平均値と標準偏差を示した。

宙返りの離手時に身体重心がもつ水平速度は、TB (-0.56±0.29m/s) とPB (-0.65±0.30m/s) の間で有意な差は見られなかった。また、垂直速度も、TB (3.34±0.30m/s) とPB (3.37±0.17m/s) の間で有意な差は見られなかった。

宙返りの離手時の身体重心まわりの角運動量は、TB (0.23±0.01/s) よりもPB (0.26±0.02/s) のほうが大きく、両者の間に有意な差が見られた (p<0.01)。

2) 後方車輪中の変数

a) 関節角度

宙返りに至る後方車輪中の各関節角度の変化を図 5.5.1 に示した。宙返りに至る後方車輪の実施中、懸垂局面において平行棒の高さの影響によって膝

表 5.5.1 離手時の変数

	身体重心の水平速度 (m/s)	身体重心の鉛直速度 (m/s)	身体重心まわりの角運動量 (s)
かかえ込み	-0.56 ± 0.29	3.34 ± 0.30	0.23 ± 0.01
屈身	-0.65 ± 0.30	3.37 ± 0.17	0.26 ± 0.02
有意差	なし	なし	あり(p<0.01)

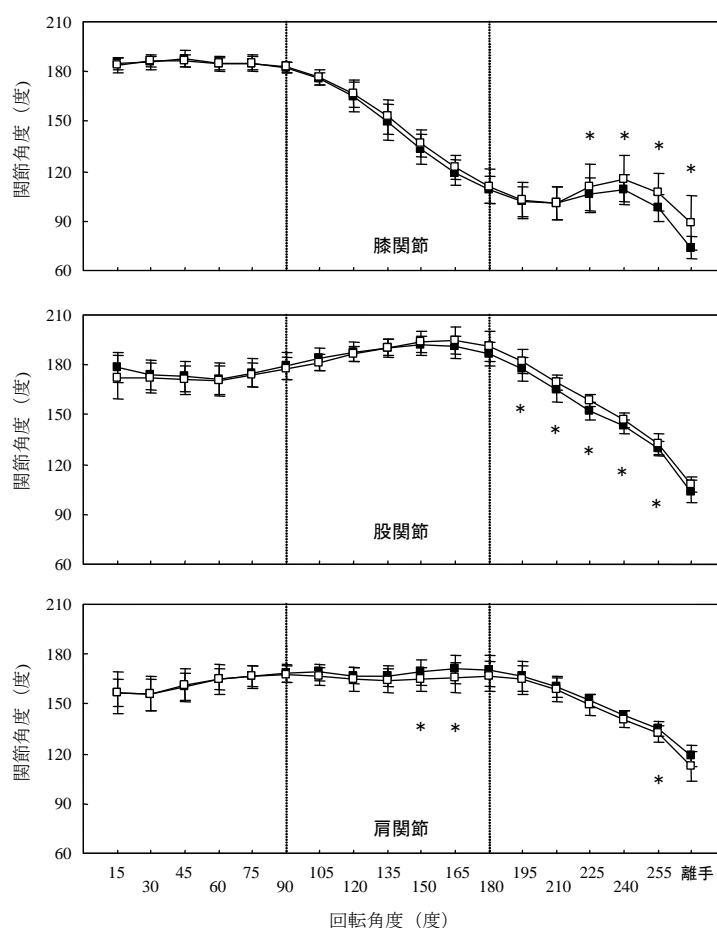


図 5.5.1 関節角度の変化

□ 屈身ベール (PB) (平均±SD) ■ かかえ込みベール (TB) (平均±SD)

*: 有意差あり (p<0.05)

関節を屈曲する必要が生じる。そのため膝関節角度は後方車輪の回転に伴って小さくなり、TBとPB実施時ともに、RA210°まで低下しており、両者の数値に有意な差は見られなかった。しかしながらRA225°以降、TBとPBともにやや増加してから再び低下するパターンは一致していたものの、離手までTBにくらべてPBのほうが有意に大きな値を示していた。

股関節角度は、倒立から振り下ろす際にやや減少、懸垂に至る局面で増加、身体の上昇局面で低下するパターンはTBとPBで共通していた。しかしながら、RA195°以降の身体の上昇局面中、TBにくらべてPBのほうが有意に大きな値を示していた。

肩関節角度は、懸垂局面まで大きな変化がなく、身体の上昇局面において減少するパターンはTBとPBで共通していた。しかしながら、懸垂に至るRA150~165°、離手の寸前であるRA255°の時点で、TBにくらべてPBのほうが有意に小さな値を示していた。

b) 関節トルク

宙返りに至る後方車輪中に各関節で発揮されたトルクの変化を図5.5.2に示した。

宙返りに至る後方車輪中に膝関節で発揮されたトルクは、倒立からの振り下ろし局面でほぼ0であったものが、懸垂局面中屈曲トルクが発揮され、それが減少して離手に至るパターンはTBとPBで共通していた。しかしながら、倒立からの振り下ろし局面であるRA60°では、PBの実施時にわずかであるが伸展トルクが発揮されており、また、懸垂局面であるRA165~180°と離手の時点では、TBにくらべてPBのほうが屈曲トルクの値が小さく、有意な差が認められた。

同様に股関節で発揮されたトルクは、懸垂に至る局面で伸展トルクが発揮さ

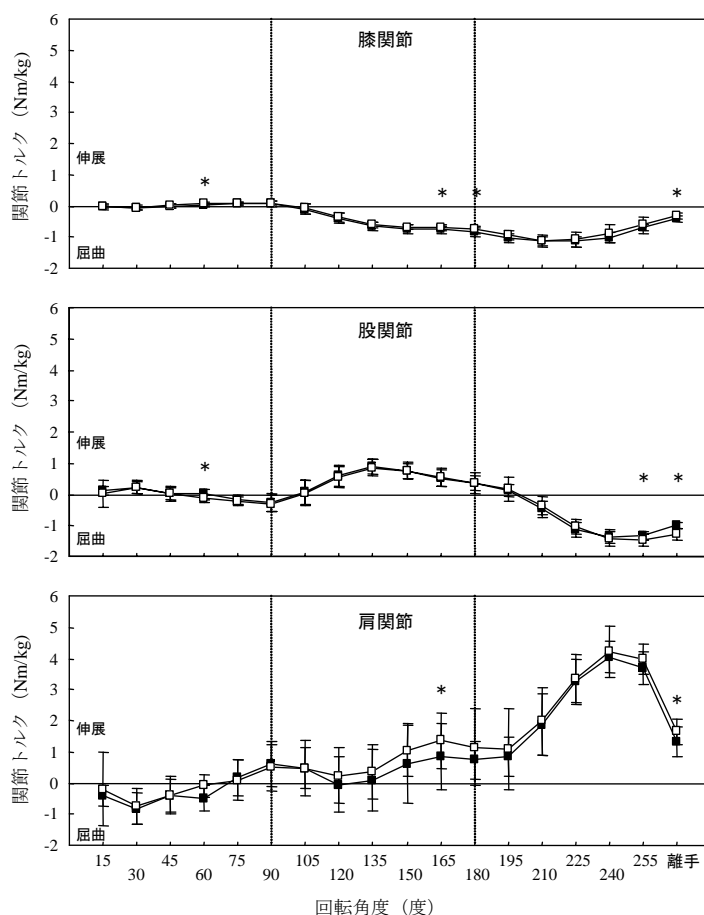


図 5.5.2 関節トルクの変化

□ 屈身ペーレ (PB) (平均±SD) ■ かかえ込みペーレ (TB) (平均±SD)
*: 有意差あり (p<0.05)

れ、懸垂局面以降身体が上昇する局面から離手まで屈曲トルクが発揮されるパターンは TB と PB で共通していた。しかしながら、倒立からの振り下ろし局面である RA60° では、PB の実施時にわずかであるが屈曲トルクが発揮されていたのに対して、TB の実施時にはわずかに伸展トルクが発揮されており、また、離手寸前の RA255° と離手の時点では、TB にくらべて PB のほうが屈曲トルクの値が大きく、有意な差が認められた。

肩関節で発揮されたトルクは、倒立からの振り下ろしから伸展トルクが徐々に増加し、懸垂以降身体が上昇する局面で急激に増加した後に減少して離手にいたるパターンは TB と PB で共通していた。しかしながら、懸垂に至る局面である RA165° の時点では PB の実施時に TB に比べて有意に大きな伸展トルクが発揮され、また離手の時点においても、TB にくらべて PB で有意に大きな伸展トルクが発揮されていた。

c) 関節パワー

宙返りに至る後方車輪中に各関節で発揮されたパワーの変化を図 5.5.3 に示した。

膝関節で発揮されたパワーは、懸垂に至る局面で増加して正の値を示し、身体が上昇する局面で減少して負の値を示した後再び増加して正の値を示し、減少して離手に至るパターンは TB と PB で共通していた。しかしながら、身体が上昇する局面で減少して負の値を示した RA225° の時点で、TB にくらべて PB のほうが有意に大きな負の値を示し、離手の時点では TB にくらべて PB のほうが有意に小さな正の値を示した。

股関節で発揮されたパワーは、懸垂に至る局面においてわずかに正のパワーが発揮され、懸垂局面で一旦減少し

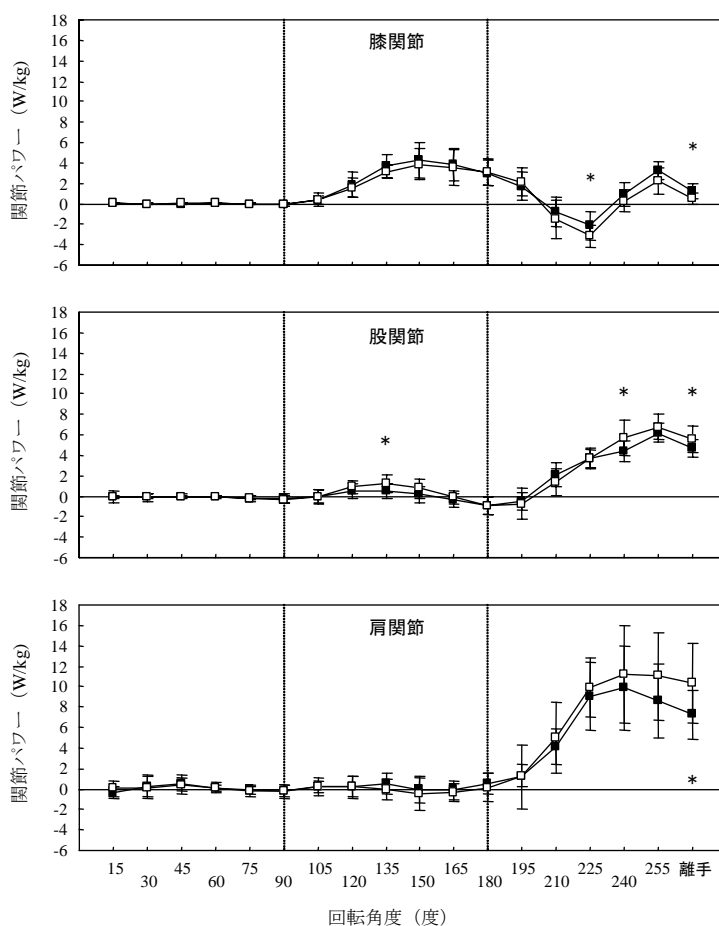


図 5.5.3 関節パワーの変化

□ 屈身ベアー (PB) (平均±SD) ■ かかえ込みベアー (TB) (平均±SD)

*: 有意差あり (p<0.05)

た後、身体が上昇する局面で正のパワーが発揮された後にやや減少して離手にいたるパターンは TB と PB で共通していた。しかしながら、懸垂に至る局面である RA135° の時点では PB の実施時に TB に比べて有意に大きな正のパワーが発揮され、また身体が上昇する局面である RA240° と離手の時点においても、TB にくらべて PB で有意に大きな正のパワーが発揮されていた。

肩関節で発揮されたパワーは、懸垂局面までほぼ 0 を示し、身体が上昇する局面で正のパワーが発揮されて離手に至るパターンは TB と PB で共通していた。しかしながら、TB の実施時には増加した正のパワーが減少して離手に至るのに対して、PB の実施時には減少の幅が小さく、離手の時点で TB にくらべて有意に大きな正のパワーが発揮されていた。

4. 考察

体操競技においては選手の演技を審判員が採点規則に則って採点することにより勝敗が決められるが、演技を構成する一つ一つの技は、「安全で美しく、かつ正しい技術で実施（採点規則 p 17）」されることが求められている。本研究で取り上げた屈身バーレについては、「最初の宙返りから明確な屈身姿勢を示さなければならず、「屈身姿勢の遅いものや不明確な捌きは、かかえ込み 2 回宙返りと判定しスーパー E 難度として認定しない。」（男子体操競技委員会情報 5 号,2001）とされている。したがって、宙返りへの離手後のできるだけ早い時点において屈身姿勢となることが要求される。屈身バーレはその正式名称のとおり後方車輪から宙返りに至るが、平行棒における後方車輪の実施時には器具の高さ（180cm）の制限から、懸垂時に膝関節を屈曲させることが必要とされる。そのため、宙返りに至る後方車輪の上昇を可能にするパワーを生み出す「あふり」といわれる股関節の屈曲を行う際には、膝関節は屈曲せざるを得ない。屈身バーレは、離手時に屈曲した膝を上述のように宙返りのできるだけ早い時点で伸展させる必要があり、膝関節を屈曲させたまま行うバーレとは異なる技術が要求されると思われる。

後方車輪から宙返りに至る離手の時点で、身体重心の水平速度、垂直速度ともに、バーレと屈身バーレの間で有意な差は見られなかった。これは、宙返り時に身体重心が描く空間の軌跡は両者間で差がないことを示していると考えられる。

一方、離手時の身体重心まわりの角運動量は、バーレよりも屈身バーレの方が有意に大きかった。かかえ込みに比べて大きな回転半径をもつ屈身姿勢での宙返りを実施するには、かかえ込み宙返りに比べて大きな角運動量が要求されることは当然といえる。屈身バーレでは、

ベーレよりも大きな角運動量獲得のための運動技術が必要であり、この点がベーレと屈身ベーレの運動技術の差であると考えられる。

ここでは特に後方車輪の上昇と宙返りのためのパワーを生み出す「あふり」がなされる懸垂局面以降の両技の差異について考察してゆきたい。

本研究で明らかにされた膝関節角度の動態からは、屈身ベーレではベーレに比べ、懸垂局面以降宙返りの離手に至るまで膝関節の屈曲角度が小さく、また後方車輪の上昇局面において股関節角度は屈身ベーレの方がわずかではあるが大きかった。さらに、肩関節角度は離手の寸前の時点で屈身ベーレの方がわずかに小さかった。こうした関節角度の動態からは、屈身ベーレでは離手の寸前にすでに屈身体勢の先取りがなされていることが伺われる。

関節トルクの動態を見ると、離手時には屈身ベーレにおいて、ベーレに比べて膝関節屈曲トルクが小さく、股関節屈曲トルクが大きく、さらには肩関節の伸展トルクが大きかった。また、関節で発揮されたパワーは、離手の時点で屈身ベーレにおいてベーレに比べて膝関節で正のパワーが小さく、股関節で正のパワーが大きく、さらには肩関節で正のパワーが大きかった。関節トルクの符号から、それぞれの関節で発揮されたパワーは、膝関節では屈曲トルク、股関節で屈曲トルク、肩関節で伸展トルクによるものであることがわかる。したがって離手までの懸垂局面以降では、各関節トルクとパワーの動態に屈身ベーレとベーレでほとんど差が見られないが、離手時には屈身ベーレにおいて大きな股関節屈曲トルクと肩関節伸展トルクが発揮され、それぞれのトルク由来のパワーが大きいことが示された。

土屋と田中（2004）は、ベーレにおいて、離手時の身体重心まわりの角運動量は、後方車輪中の股関節屈曲トルクのピーク値、肩関節伸展トルクによるパワーのピーク値と、それぞれ有意な正の相関関係にあることを示している。本研究では関節で発揮されたトルクとパワーのピーク値と離手時の角運動量との関係は検討していないが、本研究の結果で明らかにされたように、屈身ベーレにおいてはベーレに比べて大きな回転半径で宙返りを行う必要があるため、離手時の身体重心まわりの角運動量が大きい。したがって、屈身ベーレにおいても、ベーレと同様、股関節で発揮される屈曲トルクと肩関節で発揮される伸展トルク、それらによるパワーを大きくすることが必要であり、離手の時点までそれらを維持する必要があることが示唆される。

トレーニングの現場においては、後方車輪で上昇する際の股関節屈曲動作は「あふり」、同じ局面での肩関節伸展動作は「肩の引き」という言葉で表現されている。したがって屈身ベーレの実施時には、ベーレに比べ、離手時に「股関節のあふり」と「肩関節の引き」

がより強調される必要があり、さらには股関節屈曲トルクと肩関節伸展トルク、それらが発揮するパワーを大きくする体力的なトレーニングが必要となることが考えられる。

5. まとめ

現在多くの競技会で実施されているベーレと、その発展技であり、より高難度の屈身ベーレをバイオメカニク的に比較することにより、屈身ベーレの運動技術を探ることが本研究の目的であった。

競技会における両技の実施を撮影したビデオ画像から、身体重心の速度、身体重心まわりの角運動量、関節で発揮されたトルクとパワーを算出した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・宙返りの離手時に身体重心がもつ水平速度は、ベーレと屈身ベーレの間で有意な差は見られなかった。また、垂直速度も両者間で有意な差は見られなかった。
- ・宙返りの離手時の身体重心まわりの角運動量は、ベーレよりも屈身ベーレのほうが大きく、両者の間に有意な差が見られた。
- ・離手までの懸垂局面以降では、各関節トルクとパワーの動態に屈身ベーレとベーレでほとんど差が見られないが、離手時には屈身ベーレにおいて大きな股関節屈曲トルクと肩関節伸展トルクが発揮され、それぞれのトルク由来のパワーが大きいことが示された。
- ・関節トルクとパワーの動態から、屈身ベーレの実施時には、ベーレに比べ、離手時において「股関節のあふり」と「肩関節の引き」が、より強調される必要があり、さらには股関節屈曲トルクと肩関節伸展トルク、それらが発揮するパワーを大きくする体力的なトレーニングが必要となることが示唆された。

第6章 総合考察

第1章第2節において明らかにしたように、体操競技の指導において重要な情報には、技の実施を可能にさせるその技の技術がどういったものかという情報、その技術をどのようにすれば身につけられるのかといった技術トレーニングの方法に関する情報、目標像と実際の運動とのずれの情報、選手が感じる自分の運動と実際の運動とのずれの情報、そうした問題の解決にあたってどのような修正方法を用いるべきかを明らかにするための情報があげられる。

選手がある技を習得しようとするとき、最も重要な情報は、その技のやり方すなわち技術に関する情報である。しかし、すでに述べた通り、膨大な数の技のすべてについてこれが明確にされているわけではないし、明らかにされていることでもすべての指導者にその情報が共有されているわけではない。

ここではまず先に示した体操競技の技術トレーニングにとって必要な情報を収集する方法について考察してみたい。

まず、技という運動を指導する際に必要となる、技の実施を可能にさせるその技の技術がどういったものかという情報の収集方法である。指導者の側からすればその情報は、選手に教えること、選手から見れば何をおぼえるのかということになる。これは技術の明確化ととらえられる。

図6.1.1に示すように、技術の明確化には、すでにその技を習得している選手がその技を実施する際にもつ「こつ」といわれる主観的情報と、他者

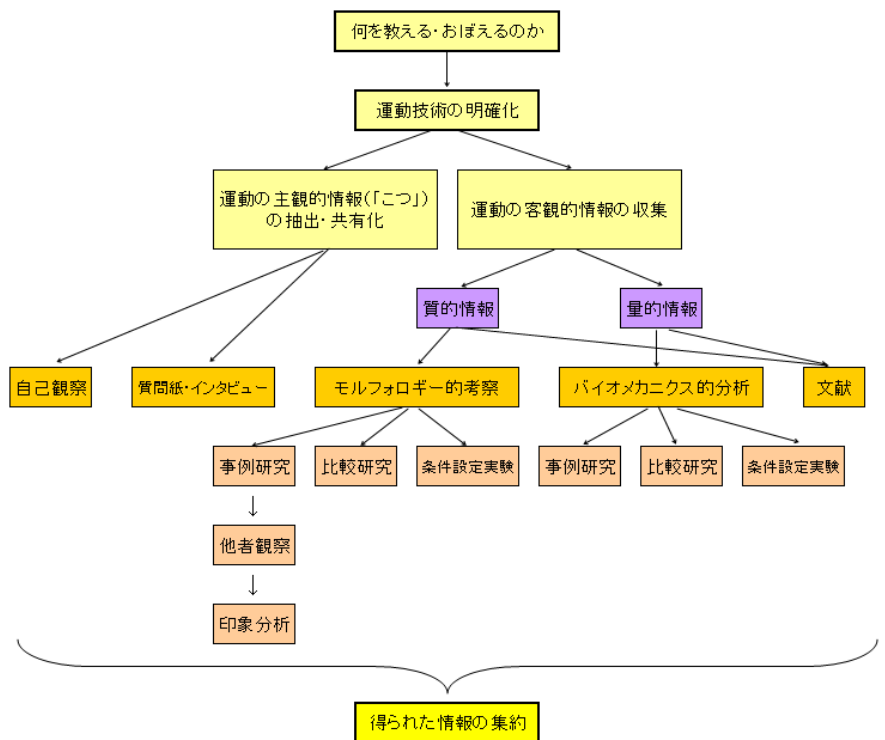


図 6.1.1 運動技術の明確化のための運動分析の方法

からみて確認できる客観的な情報の2つが必要になる。

選手の主観的情報である「こつ」自体は個人的な情報ではあるが、多くの選手の「こつ」が集積されることによって、共有すべき技術的情報が得られ、「次第に公共性をもった『私たちのこつ』へと昇華されていく」(朝岡,1997)。この「こつ」の収集には、自分の運動中の感覚を確認できる自己観察(マイネル,1981)能力が聞かれる側である選手に不可欠であるが、それを引き出すための質問紙あるいはインタビューといった方法が用いられる。

一方、選手の運動を他から観察して得る客観的情報は、選手の運動がどのようになっているのかという質的な情報と、定量化できる量的情報とに分けられよう。このうち質的な情報の収集は、モルフォロジー的な考察方法によって行われることになる。量的な情報の収集は、バイオメカニクス的な分析によってなされる。質的・量的情報のいずれにおいても、その技を実際に行っている選手の特徴を捉えようとする事例研究や、熟練者と非熟練者を比較する研究、あるいは動き方に様々な条件を設定した実験研究が技術の明確化に有効であろう。さらに質的・量的な情報を取り扱った先行研究等の文献も有益な情報源となる。

技術に関する情報は、多くの場合、その技を実施可能な選手の動きを記述すること、あるいはできる選手とできない選手の動きを比較すること、できない者ができる様になる過程を追うことによって収集される。

本研究ではその一例として、鉄棒におけるけ上りを対象として、け上りの成功例と失敗例、およびけ上りの習得過程の動作変化について、映像分析によって **Kinematical** なパラメータを算出し、け上りの運動課題を達成できる身体の「動き」を記述することにより、その技術を明らかにした(第2章)。そこでは、以下のことがけ上りの指導の際に重要な技術的ポイントであることが示唆された。すなわち、前振りから振れ戻りの際、肩関節の伸展は股関節の屈曲に先行してはならない、振れ戻りの際に身体重心がもつ鉄棒まわりの角速度の大きさ自体は、け上りの成否に関係しない、振れ戻りの際に身体重心がもつ鉄棒まわりの角速度のピークの出現を遅くすることが重要である、という点である。

技術の明確化においては、ある技の目標像をどのように設定するかも重要な課題である。目標像によって選択される技術が異なるためである。目標像には、体操競技の特性に則った目標像と、その技に課せられた機能的な課題にとっての目標像とが考えられるが、そのどちらも満足した目標像の設定が必要となる。体操競技の特性に則った課題とは、第1章第2節で述べたように、金子のいう「姿勢的簡潔性」に反しないということであり、これは例えば、伸身姿勢であれば股関節、膝関節、あるいは足関節の屈曲が見られないように技を実施しな

ければならないということである。一方機能的な課題とは、次に続く技の実施に必要な条件を充足させるために行われる技で重要な意味をもつ。例えばゆかの後転とびは、それ自体が単独で行われることはほとんどなく、次に行われる宙返り系の技の実施に必要な速度と角運動量や、望ましい踏み切り姿勢の獲得という機能的課題をもっている。

本研究ではゆかの後転とびを対象として、これも **Kinematical** な分析によって、その技に課せられた機能的課題の解決という観点からみた技の特徴を明確にした（第 3 章第 2 節）。さらに同じ表記の技でも異なる身体の「動き」があることを明らかにして、従来とは異なる「動き」が何を意図して行われるようになったのか、どこにその機能的優位性があるのかを明らかにした（第 3 章）。

後転とびの機能的課題には水平速度と角運動量の増大があげられるものの、一般的な後転とびにはロンダートからの着足局面初期と着手局面初期ならびに後半において水平速度の減少、着手局面前半において角運動量の減少がみられること、角運動量の増大は、着手局面後半においてなされることが明らかにされた。着足局面における水平速度の減少を防ぐためには後傾姿勢をとって着足し、踏み切りの力を着足直後に身体の前方向に発揮すること、肩関節角度を着手と同時に最大にして身体の傾斜角度を大きくし、着手局面の占める時間を短くするように突き放しを行うことが水平速度の減少の防止と角運動量の増大において有効であることが示された。また、近年になって出現した新しい運動形態をもつ後転とびには、水平速度の維持、角運動量の増大という課題の解決において、従来の運動形態の後転とびに対して優位であること、その新しい後転とびの踏切技術を明確にした。

体操競技においては、新しい技の実施や、これまで行われた技でも他の選手より優れた実施が求められることはすでに述べた通りである。同じ表記の技でも、次に行われる技によって、あるいは時代の変遷とともに課せられる機能的課題が変化することがあるが、その一例が本研究で取り上げた後転とびであり、本研究で明らかにしたように、その技の機能的課題の確認と、そのための運動技術の明確化が常になされる必要がある。

実際の技の指導の際には、このように機能的な課題と体操競技の特性に即した特性をふまえた上で、望ましい「動き」が明確にされ、その実現のための技術が明らかにされる必要があるが、単に動きだけではなく、その動きの実現のためにどのような筋力発揮が必要とされるのかも非常に重要な情報となる。

第 4 章では、段違い平行棒における後方車輪を対象として、**Kinematical** な分析に加えて **Kinetical** な分析を行うことによって、技術的ポイントとしての外からみた「動き」のみなら

ず、その動きのよしあしに大きな影響を与える筋力発揮の動態を明らかにし、身体の「動き」が筋力発揮によってどのような影響を受けるのかを検討した。

その結果からは、段違い平行棒における後方車輪の運動課題達成のためには、体操競技の指導現場で「あふり」といわれる回転後半の股関節の屈曲による大きなパワーの発揮が重要な役割を果たし、それに引き続く股関節伸展による発揮パワーをできるだけ小さく抑えることも必要であることが示され、体操競技のための体力トレーニングとして頻繁に行われる股関節屈曲のトレーニングの有効性が示されたと同時に、技術的な観点からは、すばやい股関節の屈曲を強調し、股関節伸展をできるだけ抑えるようなトレーニングがなされるべきであることが示唆された。

さらに第 5 章では平行棒における後方車輪系技を対象として、第 4 章同様、Kinetical な分析によって、身体の「動き」とあわせて筋力発揮がどのように身体の動きに影響しているかを明らかにし、望ましい筋力発揮動態の明確化とそれを実現するための体力トレーニングの具体化を検討した。

これらの研究から、平行棒における後方車輪の実施時には、鉄棒における後方車輪の実施時に比べて懸垂に至る局面で股関節の伸展、懸垂以降の上昇局面で、股関節屈曲とより早い時点から長期間にわたる肩関節伸展のための筋力発揮がより必要であることが示唆され、懸垂局面までは股関節角度を広く維持し、その後股関節の「あふり」を強く行うこと、肩関節の伸展動作である「バーの引き」と表現される動作を、懸垂局面の早い時点から強くかつ長く行うことを技術的なポイントとして把握することが、効率のよいトレーニングを実現させることにつながると考えられた。

平行棒における後方車輪の発展技であるベーレの実施中に関節で発揮されるトルク、パワーの変化を明らかにした研究においては、離手前の股関節屈曲トルクとそれによるパワーのピーク値が、後方車輪のそれぞれ約 1.6 倍、約 1.7 倍であり、それぞれのピーク値の出現時点は、ベーレの方が遅いこと、肩関節で発揮された伸展トルクとそれによるパワーのピーク値も、後方車輪のそれぞれ約 1.3 倍、約 1.6 倍であり、さらにそれらの出現時点は遅く、離手に近い時点でなされていることが明らかにされた。これらの情報を現場における言葉に置き換えれば、ベーレ実施の際には、後方車輪実施時にみられる「あふり」後の股関節伸展動作である「あて」といわれる身体動作を行わず、「あふり」を続けるようにして、なおかつ後方車輪よりも遅い時点で「あふり」動作を後方車輪のとき以上に強く行って離手に至るようにすること、ベーレでは強い「バーの引き」は、握りの真下を身体が通過するまで待ち、で

きるだけ離手に近い時点で行うことが技術的ポイントであるといえよう。

さらに、優れたベーレの実施を可能にする運動技術をバイオメカニクス的に探ることを目的とした研究では、肩関節の伸展トルクとパワーの発揮がこの技の実施において重要な役割を果たしていること、特に肩関節伸展筋群の筋力獲得トレーニングが充分になされる必要があること、離手時の身体重心まわりの角運動量は、股関節屈曲トルクのピーク値と有意な相関関係にあり、このことは、指導の現場では股関節の「あふり」の力強さを強調する必要があることを示していると考えられること、離手時の身体重心まわりの角運動量は、肩関節伸展パワーのピーク値と有意な相関関係にあり、単に大きな筋力を発揮するだけではなく、すばやく肩関節を伸展させて高いパワーを発揮させる身体操作の指導とそのためトレーニングが行われる必要があることが示唆された。

また、ベーレを発展させた技である屈身ベーレの実施の際には離手時に大きな股関節屈曲トルクと肩関節伸展トルクが発揮され、それぞれのトルク由来のパワーが大きいことが示され、屈身ベーレの実施時には、ベーレに比べ、離手時において「股関節のあふり」と「肩関節の引き」が、より強調される必要があり、さらには股関節屈曲トルクと肩関節伸展トルク、それらが発揮するパワーを大きくする体力的なトレーニングが必要となることが示唆された。

本研究では、ある技にとって望ましい動き、あるいはさらにその動きを実現するための筋力発揮の動態について明らかにしてきたが、これらはすべて要約すれば、ある技について、その技の技術がどういったものかという情報を明らかにしようとした研究であるといえる。

技の技術が明らかにされたところで、次に必要な情報は、その技術をどのようにすれば身につけられるのかといった技術トレーニングの方法に関する情報である。指導側からすればどう教えるのか、選手からみればどうおぼえるのかという情報である。

こうした技術トレーニングの方法の明確化の際には、どの時期にその技を教える・おぼえるべきなのか、どのような方法で教える・おぼえるべきなのか、その技術トレーニングを行う際にどのような環境を整えるべきなのか、の3つが大きな問題となる。

技術トレーニングの処方には、これまでその技に関してどのような指導方法がとられているのか、どのような指導によってどのような結果が得られたのかといった情報が重要な意味をもつが、こうした情報の収集には事例を積み重ねる事例研究が大きな意義をもとう。こうした事例研究は、質問紙・インタビューによる方法、モルフォロギー的な考察、バイオメカニクス的な分析がその有効な方法となる。一流選手がどういったトレーニングを行って現在に至っているのかといった調査研究も、技術トレーニング方法の構築の際には大きな助けと

なろう (図 6.1.2)。

実際に技の習得のための技術トレーニングが行われ始めると、指導者側にとっては、実際に運動している選手の運動のよしあしを把握し、望ましい運動 (目標像) に対してどこが違っているのかを見抜くことと、その原因を探ることが要求されることになる。ここにおいて、まず目標像と実際の運動とのずれの明確化と、選手が感じる自分の運動と実際の運動とのずれの明確化が必要となる (図 6.1.3)。

目標像と実際の運動とのずれの明確化には、まず目標像が明確に設定されている必要がある。この場合の目標像は、すでに明らかにされたその運動の技術が実現する「動き」と等しい。したがって目標像の設定とは、望ましい動きとそのための技術に関する情報の集約ということになる。この情報に関しては、運動技術の明確化の際にすでに明らかにされることになる。

目標像が設定されたことを前提として、次になされるのは実際の運動がどれだけ目標像とずれているのかの明確化である。その際には行われた運動の客観的情報が必要となる。客観的情報のうち質的情報についてはモルフォロジー的考察が、量的情報についてはバイオメカニクス的な分析がなされるが、どちらにせよ実際に行われた運動の事例研究の形がとられる。ここで明らかにされた質的・量的特長が、目標像における質的・量的特長と比較されることになるが、当然のことながらモルフォロジー的な考察における印象分析やバイオメカニクス的な分析による運動の定量化の際には、比較されることがらに関する情報の収集が必要がある (図 6.1.4)。

目標像と実際の運動のずれが明らかになったところで、次に明らかにされるべきことからは、選手自身が「どうやろうとしているのか」という意図と、実際の運動との間に生じるずれの明確化である。この際、選手の「やろうとしていること」は、目標像に適した内容である必要があり、これが目標像の実現に沿わない意図である場合にはその修正がまず行われな

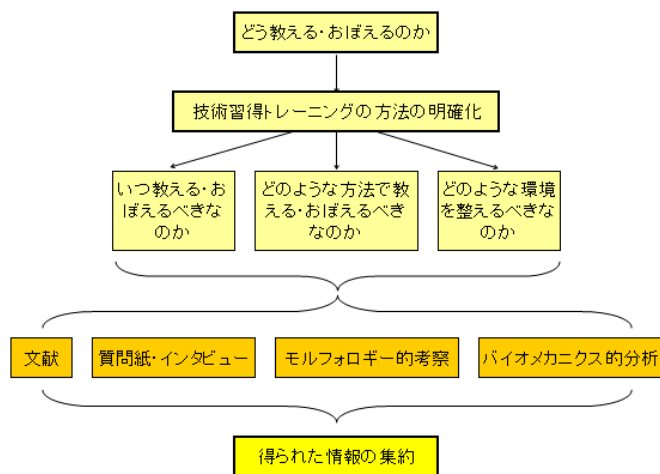


図 6.1.2 技術トレーニングの方法の明確化のための運動分析の方法

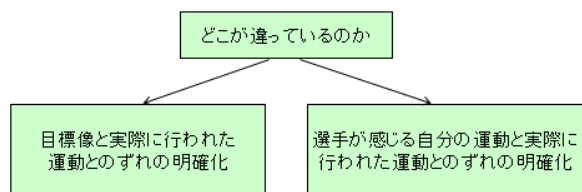


図 6.1.3 運動のずれの明確化のための運動分析の方法

なければならない。選手が「やろうとしていること」が、目標像の実現にとって効果的ではない、あるいは間違っているかどうかは、すでに明らかにされたその運動の技術情報と選手の意図とを照らし合わせることによって確認できよう。

選手の意図した動きと目標像の実現に必要な技術とが一致している場合には、「やろうとしていること」と実際の運動との間のずれを修正するために、まずそのずれがどのようなものが明らかにされる必要がある。その場合、まず選手自身の「やろうとしていること」を明確にすることが必要になるが、これには選手がその運動を行う際の主観的な情報すなわち自己観察情報を収集することが求められる。こうした情報の収集には、選手に対する質問やインタビューといった方法が用いられる。

さらに実際の運動の質的・量的な客観的情報の収集が必要となるが、これにはモルフォロギー的な印象分析やバイオメカニクス的な分析による運動の定量化といった方法を用いた事例研究が有効である。

理想像と実際の運動とのずれの明確化と、学習者の感覚と実際の運動とのずれの明確化がなされた後、さらに、そうした問題の解決にあたってどのような修正方法を用いるべきかを明らかにするための判断材料が求められることになるが、これには、いつ、どのように、どのような環境下でそのずれを修正すべきかに関する情報が必要となる(図 6.1.5)。

技術トレーニングの処方と同様、これまで同じ問題や類似の問題に対してどのような修正方法がとられているのか、どのような指導によってどのような結果が得られたのかといった情報が重要となるが、こうした情報の収集には事例を積み重ねる事例研究が大きな意義をもつ。こうした事例研究は、質問紙・インタビューによる方法、モルフォロギー的な考察、バ

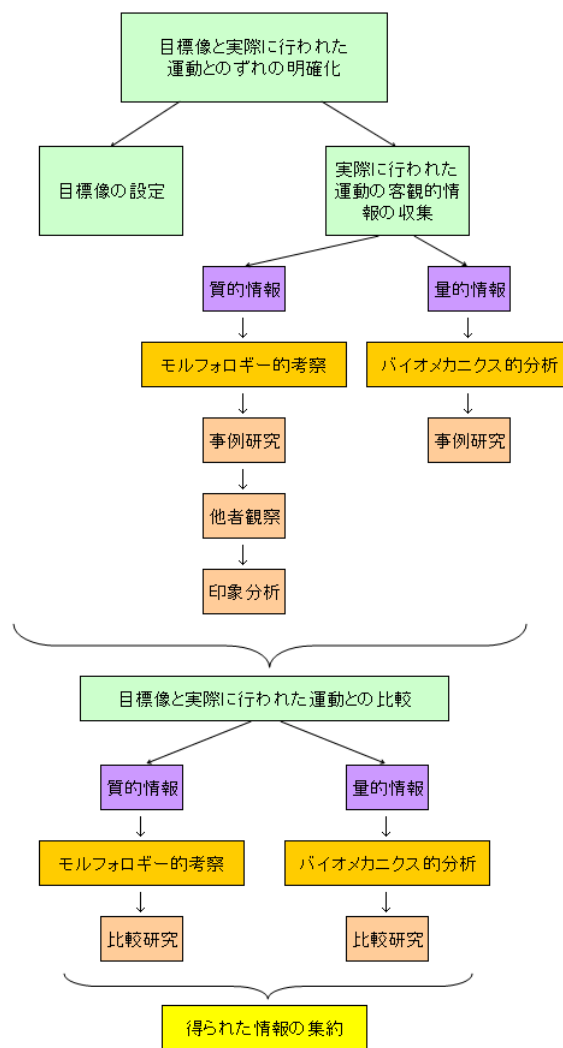


図 6.1.4 目標像と実際に行われた運動とのずれの明確化のための運動分析の方法

イオメカニクスの分析によってなされる(図 6.1.6)。

先に示した体操競技の技術トレーニングに必要な情報のうち、その技術をどのようにすれば身につけられるのかといった技術トレーニングの方法、選手の感覚と実際の運動とのずれの明確化、運動学習上の問題の解決にあたってどのような修正方法を用いるべきかを明らかにするための情報の収集については十分な研究がなされているとはいいがたい。すでに述べたように、こうした情報の収集には事例研究の積み重ねが大きな意義をもつと思われる。

これまでに、優秀な選手を育てた著名な指導者の手による指導書がいくつか刊行されているが、そのほとんどは技の技術の明確化と指導方法の紹介に力点が置かれていた。そこで紹介された技術やその指導方法は、その指導者の「個人的な」捉え方の紹介であり、その指導者が捉えた「個人的な」技術や指導方法に関する情報によって優秀な選手が育った事実は、その情報が正しいことを裏付ける大きな理由となろうが、そうした情報のすべてにおいて十分な検証がなされているわけではない。体操競技における技の数が数百に上ることを大きな原因として、上記でその重要性を指摘した事例研究の積み重ねは現在のところ十分になされている

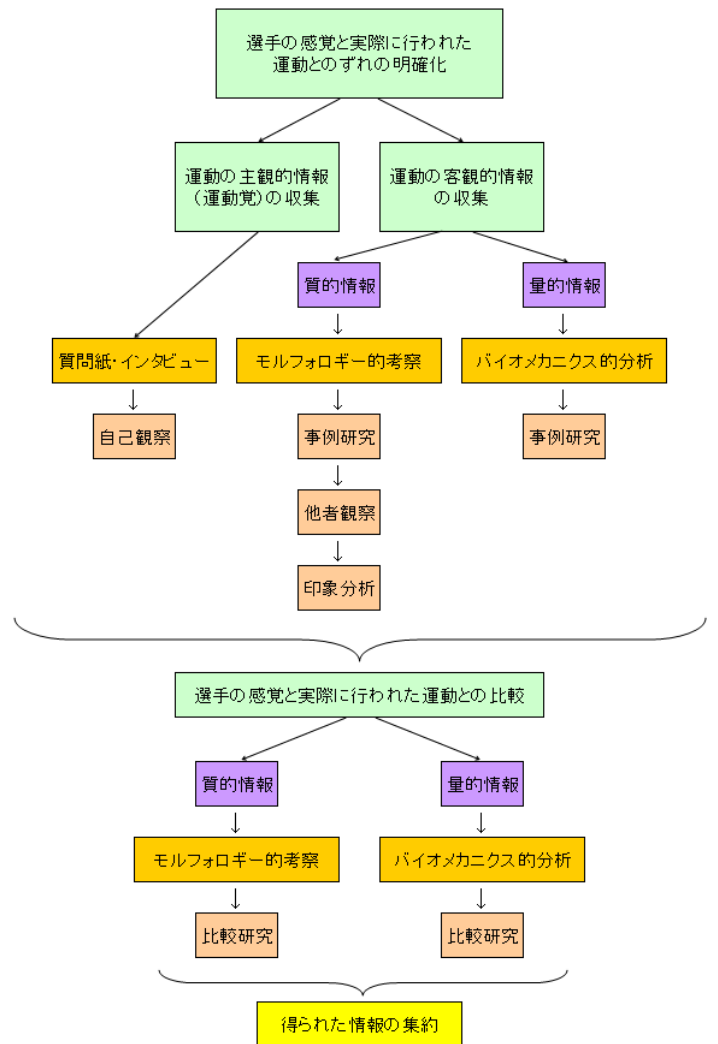


図 6.1.5 選手の感覚と実際に行われた運動とのずれの明確化のための運動分析の方法

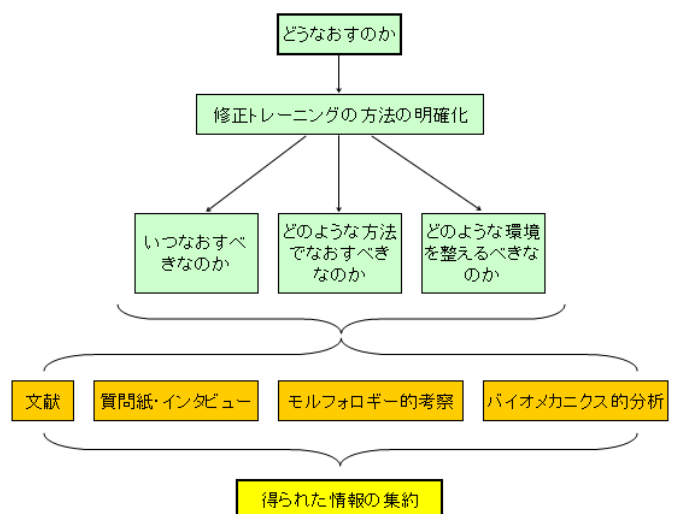


図 6.1.6 修正トレーニングの方法の明確化のための運動分析の方法

とは言い難い。数多い指導者が、自身の経験のなかで様々な事例を積み重ね、その指導者の個人内で重要な情報が埋没し、決して多くの指導者が共有することがないとしたらこれほど残念なことはない。朝岡（1997）は、「多くの個別事例的研究を通して『私たちのこつ』を確認していく作業こそが今日的課題となる」として運動技術の研究における事例研究の重要性を説いているが、これは技術の明確化に限ったことではなく、指導方法の明確化、修正の対象の明確化、修正方法の明確化のいずれにおいても同じことがいえるだろう。

本研究では体操競技の技術トレーニングにおける運動分析の意義について考察し、いくつかの研究によって技の技術情報を明らかにすることの具体例を示してきた。今後はここで指摘したように、ある技術はどのような練習方法によって身につけられるのかといった技術トレーニングの方法の明確化、選手の感覚と実際の運動とのずれの明確化、運動学習上の問題の解決にあたって用いるべき修正方法の明確化という目的をもった事例研究が今後大いになされることを期待したい。

第7章 要約

スポーツ運動における「技術」とは、「特定の運動についてその運動課題を解決する方法」と定義づけられている。体操競技においてはここで言う特定の運動のことを「技」と呼ぶが、すべての種目の「技」を合わせると膨大な数に上る。したがって、体操競技における技術は無数に存在することになる。

体操競技における効果的な技術トレーニング方法の構築という観点からすれば、「技」の技術情報を明らかにすることは重要な意味をもつ。ある「技」の実施にとって何が重要な技術的ポイントなのか、どのような技術の獲得がより発展した「技」を実施する際に有利になるのか、習得すべき「技」をどのような順序で指導すべきなのかといった情報は、トレーニング計画の立案において必要不可欠であるからである。

本研究の目的は、体操競技の効果的な技術トレーニングの構築において重要となる「技」の様々な技術情報をバイオメカニクスの的に明らかにすることであった。

具体的な研究は以下のとおりである。

1. 鉄棒における「け上がり」について動作分析した結果、「け上がり」成功の条件として、①肩関節の伸展は股関節の屈曲に先行してはならないこと、②振れ戻りの際に身体重心がもつ鉄棒まわりの角速度のピークの出現を遅くすることが示され、さらに振れ戻りの際に身体重心がもつ鉄棒まわりの角速度の大きさ自体は、「け上がり」の成否に関係しないことが明らかとなった。

2. ゆかにおける「後転とび」に関して動作分析し、「後転とび」への踏切局面、着手局面において水平速度と角運動量の減少がみられること、角運動量の増大は着手局面後半においてなされることを明らかにした。さらに、従来とは異なる運動形態をもつ新しいタイプの「後転とび」では、膝関節の屈曲による着地の緩衝動作がみられず、水平速度と角運動量の増大にとって有効であること、角運動量の増大は着手局面ではなく踏切局面でなされることが明らかにされた。また、新しいタイプの「後転とび」の踏切局面中、肩関節を大きく屈曲させる動作が角運動量増大にとって有効であることを示した。

3. 段違い平行棒における「後方車輪」を動作分析し、その運動課題の達成には、大きな股関節屈曲パワーの発揮が重要な役割を果たし、それに続く股関節伸展パワー発揮をできるだけ小さく抑えることも必要であることが示された。さらに「後方車輪」の速度を増加させ

る筋力発揮動態を明らかにし、「後方車輪」の回転速度を高める指導を行う際には、股関節伸展と肩関節屈曲の抑制を強調することが重要であることを明らかにした。

4. 平行棒の「後方車輪」系技の実施中に肩・股関節で発揮されるトルク、パワーの変化を動作分析した結果、平行棒における「後方車輪」の実施時には、鉄棒における「後方車輪」の実施時に比べ、懸垂に至る局面での股関節伸展、懸垂以降の上昇局面での股関節屈曲、早い時点から長期間にわたる肩関節伸展がより必要であることが明らかとなった。また「後方車輪から抱え込み 2 回宙返り腕支持（ベレー）」の実施時には、股関節屈曲と肩関節伸展によるトルクとパワーのピーク値が「後方車輪」よりも有意に大きく、その出現時点は「後方車輪」よりも遅いことから、「ベレー」実施の際には、「後方車輪」よりも遅い時点でより強く股関節屈曲と肩関節伸展を行うことが技術的なポイントとして考えられた。さらに「ベレー」の離手時の身体重心まわりの角運動量は、股関節屈曲トルクのピーク値、肩関節伸展パワーのピーク値と有意な相関がみられたことから、指導の現場では力強い股関節屈曲や、すばやく肩関節を伸展させて高いパワーを発揮させる指導とそのためのトレーニングが行われる必要があることが示された。さらに「ベレー」の発展技である「後方車輪から屈身 2 回宙返り腕支持（屈身ベレー）」実施時には、離手時において「ベレー」に比べて股関節屈曲と肩関節伸展によるトルクとパワーが大きいことが示され、これらの獲得のための体力的なトレーニングが必要となることが示唆された。

上記のような個々の技に対するバイオメカニクス的研究を踏まえ、体操競技の技術トレーニングで生じる問題の解決における運動分析の意義とその方法について考察した。体操競技の技術トレーニングにおいては、「技」の習得のためのトレーニングを行う前に、その「技」の技術がどういったものかという情報の収集、その技術をどのようにすれば身につけられるのかといった方法論に関する情報の収集が必要であり、技術トレーニング開始以降は目標像と実際の運動とのずれの明確化、学習者の感覚と実際の運動とのずれの明確化、ずれの修正にあたってどのような方法を用いるべきかを明らかにするための情報の収集が必要となる。こうした情報の収集には、事例研究が大きな意義をもつことを指摘した。

文献

阿部和雄:体操競技.ベースボールマガジン社,pp.171-174,1992.

阿江通良:画像データによる動作解析法. *Jpn.J.Sports Sci.*,10(3):196-203,1991.

阿江通良:日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数,*Jpn.J.Sports Sci.* ,15 (3) : 155-162, 1996.

阿江通良ほか:日本人成人の身体部分係数の実用化.日本体育学会第41回大会号,1990, p.374.

赤羽綾子:段違い平行棒における後方車輪の技術に関する運動形態学的研究.東海大学紀要体育学部,14:49-52,1984.

朝岡正雄:「運動技術学」入門.体育科教育,45(2),14-16,1997.

Barantsev,S.A. : Do gymnasts need to develop aerobic capacity?. *Soviet Sports Review*, 20 – 22 ,1990.

Bobbert, M. F. and G.J van Ingen Schenau.: Coordination in vertical jumping. *J. Biomech.*, 21 : 249-262, 1988.

Boone, W.T.: Illustrated handbook of gymnastics, tumbling, and trampolining. Parker Pub. Co. Inc.,West NYack,NY,1976, pp.23-24.

Borms,J., Moers,R. and Hebbelinck,M.:Biomechanical study of forward and backward swings. In :*Biomechanichs* ,V-B,1976,,309-313.

Bowers,C.O.,et al.:Judging and coaching women's gymnastics (2nd Ed.). Mayfield Pub. Co.,Palo Alto,Calf.,1981, pp.139-141.

Bruggemann,P.:Biomechanics in gymnastics. In:*Medicine and Sport Science* vol.25, Gheluwe, V. and J. Atha (Eds.), Karger, Basel, 1987, pp.142-176.

Bruggemann,P.:Kinematics and kinetics of the backward somersault take-off from the floor. In : *Biomechanics VII-B*, Matsui,H and K.Kobayashi (Eds.), Human Kinetics Pub. Inc., Champaign, IL, 1983, pp.793-800.

Cheetham,P.J.:Horizontal bar giant swing center of gravity motion comparisons.In:*Sports Biomechanics*, Terauds,J.,et al.(Eds.), Del Mar,Calif.,Academic Pub. ,1984,pp.99-108.

Daly R.M.,et al.: Hormonal responses to physical training in high-level peripubertal male gymnasts. *Eur. J. Appl. Physiol.*,79(1):74-81,1998.

Dapena,J.: A method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity. *J.Biomech.*, 11:251-256,1978.

Dyson K.,et al.: Gymnastic training and bone density in pre-adrescent females. *Med. Sci. Sports Exerc.*,29(4):443-450,1997.

- 榎木茂,湯浅景元,中山彰規,浅川正一:高鉄棒におけるけ上がり動作のバイオメカニクスの分析,日本体育学会第 32 回大会号,32 : 454,1981.
- FIG : Code of points.1993.
- FIG : Code of points.1989.
- 福永哲夫:競技スポーツにおけるレジスタンストレーニングの実際と課題. トレーニング科学研究会(編), レジスタンストレーニング,朝倉書店,東京,1994, pp.1-7.
- 藤原佳市,水口晴雄:平行棒.男子ジュニア選手のためのトレーニングマニュアル(分担執筆),日本体操協会男子体操競技委員会編,日本体操協会,東京, 2001,pp.238-239.
- ガベルドフスキー,U.K.:ソ連体操トレーニングシリーズ 3 鉄棒.加藤澤男(監修),小野耕三(訳),ベースボールマガジン社,東京,1978.
- 玄光男,井田憲一:パソコン数値計算ライブラリ.HBJ 出版局,東京,1986.
- George,G.S. : Biomechanics of women's gymnastics. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1980.
- George,G.S.: Selected execution techniques common to aerial gymnastic skills. In : The advanced study of gymnastics. Salmela,J.H. (Ed.), Charles C Thomas Pub.,Springfield, IL.,1976,pp. 138-147.
- Goswami,A. and S.Gupta : Cardiovascular stress and lactate formation during gymnastic routines. J.Sports Med.Phys.Fitness,38(4):317-322,1998.
- Hartley-O'Brien, S.J.: Coaching the female gymnast. Charles C Thomas Pub., Springfield, IL.,1983,pp.320-322.
- Hay, J.G.,et al.: A computational technique to determine the angular momentum of a human body. J.Biomech., 10:269-277,1977.
- Hinrichs,R.N.,et al.:Upper extremity contributions to angular momentum in running. In:Biomechanics VII-B, Matsui, H and K.Kobayashi(Eds.), Human Kinetics Pub. Inc., Champaign, IL, 1983, pp.641- 647.
- 堀田朋基ほか:バレーボールのスパイクにおける上肢の動作の定量解析.Jpn. J. Sports Sci., 7:256-262, 1988.
- 本間茂雄:改訂鉄棒運動,初版,目黒書店,東京,pp.156-165,1940.
- Huwang,I., Seo,G. and Liu,C.: Takeoff mechanics of the double backward somersault. Int. J. Sport Biomech., 6:177-186,1990.
- 石田保之:器械運動,初版,不昧堂書店,東京,pp.194-201,1961.
- 伊藤章,斉藤昌久:下腿三頭筋のリバウンド効果—体操選手と水泳選手の比較—.昭和 63 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No.IX プリオメトリック・リアクティブ筋力トレーニングに関する研究—第 2 報—,31-36,1989.

- Jahreis G.,etal.: Influence of intensive exercise on insulin-like growth factor I,thyroid and steroid hormones in female gymnasts. *Growth Regul.*,1(3):95-99,1991.
- 金子明友:教師のための器械運動指導法シリーズ 3 鉄棒運動,第 2 版,大修館書店,東京, pp.328-360, 1989.
- 金子明友:体操競技教本床運動(男・女)編. 第 3 版,不昧堂,東京,1982.
- 金子明友:体操競技教本□鉄棒編.不昧堂書店,東京,1970.
- 金子明友:体操競技.講談社,pp.206-207,1979.
- 金子明友:体操競技世界の技術.講談社,1976.
- 金子明友:体操競技のコーチング.第 5 版,大修館書店,1985.
- 金子明友:体操競技の体力と技術. 体育の科学, 18 : 306-309, 1968.
- 金子明友,田川利賢:女子体操競技教室. 大修館書店,東京,1980,pp.189-190.
- 金子一秀:運動の修正指導.In:運動学講義,金子明友・朝岡正雄編著, 初版, 大修館書店, 東京, pp.136-146, 1990.
- 金子公宥:改訂スポーツ・バイオメカニクス入門,改定第 2 版,杏林書院,東京,p.33,pp.84-85,1994.
- 加納弥生,竹本正男:段違い平行棒における後方車輪に関する研究.日本体育学会第 38 回大会号,p.368,1987.
- 加藤沢男,監物永三:器械体操.ぎょうせい,東京,pp.394-396,1982.
- 川口幾太郎:段違い平行棒における後方車輪に関する研究.日本体育学会第 42 回大会大会号,p.660,1991.
- 栗原英明ほか:後方 2 回宙返りの助走技の技術特性に関する運動形態学的研究(1) 後転とびの回転スピードと後方 2 回宙返りの連続条件.日本体育学会第 32 回大会号, 1981, p.660.
- Kopp,P.M and Reid,J.G.:A force and torque analysis of giant swings on the horizontal bar. *Can. J. Appl. Spt.Sci.*,5(2) : 98-102,1980.
- マイネル,クルト:スポーツ運動学.金子明友訳,第 5 版,大修館書店,東京,1981.
- Markolf,K.L.,et al.: Wrist loading patterns during pommel horse exercises. *J. Biomech.* 23 (10) :1001-1011,1990.
- 松井秀治:身体運動学入門基礎編,初版,杏林書院体育の科学社,東京,p.112,1967.
- 三幣晴三:「技」を磨く.サイアス,5:72-74,1999.
- Montgomery,D.L. and P.A.Beaudin : Blood lactate and heart rate response of young females during gymnastic routines. *J. Sports Med.*,22:358-365,1982.
- 長澤靖夫:達成力としての運動技能の構造.In:運動学講義,金子明友・朝岡正雄編著,初版,大修館書

店,東京, pp. 43-52,1990.

Nicol, A.C. and J.Watkins : Biomechanical analysis of somersault activities. In : Biomechanics X-B, Jonsson,B.(Ed.),Human Kinetics Pub. Inc., Champaign, IL, 1987, pp.673-677.

Nickols-Richardson,S.M.,et al.:Longitudinal bone mineral density changes in female artistic gymnasts. J.Bone Miner.Res.,14(6):994-1002,1999.

Nickols-Richardson,S.M.,et al.:Premenarcheal gymnasts possess higher bone mineral density than controls. Med.Sci.Sports Exerc.,32(1):63-69,2000.

日本体操協会研究部:男子跳馬における前転とび前方かかえ込み2回宙返り(ローチェ)の技術について.平成10年度日本オリンピック委員会スポーツ医科学研究報告 No.II 競技種目別競技力向上に関する研究-第22報-,64-67,1999.

Okamoto, A., et al. : Mechanical work in the giant swing on the horizontal bar. In: Biomechanics XI-B, de Groot,G.,et al.(Eds.),Free University Press,pp.758-762, 1989.

Prassas,S and C.Papadopoulos :Mechanics of forward support swing skills on the parallel bars. J.Human Mov. St.,40:335-350,2001.

Reggiani E.,et al.: Nutritional status and body composition of adolescent female gymnasts. J.Sports Med. Phys. Fitness.,29(3):285-288,1989.

リシツカヤ,T.S., V.E.ザグラダ:女子床運動。(加藤澤男,小野耕三訳),ベースボールマガジン社,東京, 1978, pp.71-74.

Robinson T.L.,et al.: Gymnasts exhibit higher bone mass than runners despite similar prevalence of amenorrhea and oligomenorrhea. J.Bone Miner.Res.,10(1):26-35,1995.

Sands,B.:Coaching Women's gymnastics.Human Kinetics Pub.Inc.,Champaign,IL,1984,pp. 191 - 192.

佐藤徹:技術の運動学的認識.In:運動学講義,金子明友・朝岡正雄編著,初版,大修館書店,東京, pp. 67-75,1990.

佐藤徹:ロンダートー後転とびにおける加速技術.日本体操協会体操競技委員会研究部報, 69: 57-64,1992.

Schmidt, D.K.: A scientific approach to women's gymnastics.Brighton Pub. Co., Salt Lake City, Utah,1980,pp.95-96.

白石豊,山脇恭二:後転とびの着手技術に関する一考察.日本体操協会体操競技委員会研究部研究部報, 63:51-61,1989.

Sprigings,E.J.,et al.: The role of shoulder and hip torques generated during a backward giant swing on rings. J.Appl.Biomech.,16:289-300,2000.

杉田洋:鉄棒運動のシミュレーション.In:体操競技研究,京都大学体操研究会(編),タイムス,1984,pp.57-116.

- スモレフスキー,V., V.クーリス : 男子床運動.(加藤澤男,小野耕三訳), ベースボールマガジン社, 東京, 1978, pp.32-36.
- 田川利賢:段違い平行棒の改良と技の変遷.日本体育学会第 36 回大会大会号, p.609, 1985.
- 高岡治ほか:床における後転とびの運動経過に頭位が与える影響.スポーツ方法学研究, 3(1):31-37,1990.
- 竹本正男(監),阿部和雄ほか(著):体操競技・男子.成美堂出版,pp.262-264,1980.
- Tsuchiya,J.,et al.:Kinetic analysis of backward giant swing on parallel bars. Int. J. Sport Health Sci.,2:211-221,2004.
- 土屋純,田中光:平行棒における「懸垂前振り後方かかえ込み 2 回宙返り腕支持(ベーレ)」の運動力学的分析,スポーツ科学研究,1:1-9,2004.
- 土屋純,塚脇伸作:ゆかにおける後転とびのバイオメカニクスの分析. 早稲田大学人間科学研究,5(1):49-58,1992.
- 土屋純,山脇恭二,高岡治:異なる運動形態をもつ後転とびの比較分析.体操競技研究,1:21-29, 1993.
- 塚原光男,塚原千恵子:女子体操競技入門.講談社,p.85,1982.
- 塚脇伸作:体操競技.旺文社,1980.
- Weimann E.,et al.: Hypoleptinemia in female and male gymnasts. Eur. J. Clin. Invest. 29 (10) :853-860,1999.
- Weimann E.,et al.: Peripubertal perturbations in elite gymnasts caused by sport specific training regimes and inadequate nutritional intake. Int. J. Sports Med. 21:210-215,2000.
- Winter,D.A.:Biomechanics of human movement. John Wiley & Sons,Inc.,NY, 1979, pp.32-37.
- Winter,D.A.:Biomechanics and motor control of human movement. 2nd.ed.. New York ,John Wiley & Sons Inc.,1990.
- 矢部京之助ほか:鉄棒における順手車輪の運動力学的分析.スポーツ医・科学, 1:49-57, 1987.
- 矢部京之助ほか:鉄棒の順手車輪と逆手車輪の運動力学的特徴.スポーツ医・科学, 2:59-64, 1988.
- 山田哲,阿江通良,藤井範久:力学的エネルギーからみたけ上がりの習得過程,日本体育学会第 52 回大会号,52 : 348,2001
- 山下謙智:鉄棒運動における順手および逆手車輪.体操競技研究,京都大学体操研究会(編),タイムス,pp.163-184,1984.
- Yeadon, M. R.: The biomechanics of the human in flight. Am. J. Sports Med. 25 (4):575-580, 1997a.
- Yeadon,M.R. :Twisting double somersault high bar dismounts. J. Appl. Biomech., 13:76-87, 1997b.

Yeadon, M. R.: Twisting techniques used in dismounts from rings. J. Appl. Biomech., 10:178-188, 1994.

Yeadon, M. R., et al.: Twisting techniques used in high bar dismounts. Int. J. Sports Biomech., 10 :178-188, 1994.

吉田茂ほか: 後方 2 回宙返りの助走技の技術特性に関する運動形態学的研究 (2) 後転とびのスピードと加速技術について. 日本体育学会第 32 回大会号, 1981, p.661.

財)日本オリンピック委員会選手強化本部:第 26 回オリンピック競技大会日本代表選手体力測定報告書.財団法人日本オリンピック委員会,東京,1996a.

財)日本オリンピック委員会選手強化本部:体操オリンピック強化指定選手の体力測定結果.平成 7 年度日本オリンピック委員会スポーツ医科学研究報告 NO.II 競技種目別競技力向上に関する研究—第 19 報—,東京,1996b,pp50-52.

財)日本体操協会:体操競技採点規則男子 2001 年版,財団法人日本体操協会,東京,2001.

財)日本体操協会:体操競技採点規則男子 2006 年版,財団法人日本体操協会,東京,2006.

財)日本体操協会:研究部報.10 号,1966.

財)日本体操協会:研究部報.28 号,1972.

財)日本体操協会男子体操競技委員会:情報 5 号, 財団法人日本体操協会,東京,2002.

謝辞

本来怠惰な私を常に叱咤激励してくださり、主査として本論文を完成に導いてくださった福永哲夫教授に心より感謝申し上げます。常にスポーツ科学におけるコーチング領域の重要性を強調され、コーチングの現場から多くの研究が発信されることを望まれている福永先生のご要望にお答えできているかについては甚だ自信がありませんが、今後ともご指導をいただきながら研究を進めてゆきたいと考えております。

副査としてご指導いただいた彼末一之教授と中村好男教授、ありがとうございました。彼末先生には常に温かいお言葉をかけていただき、本論文完成のためのエネルギーをいただきました。中村先生には厳しくも暖かいご指導をいただきました。中村先生の研究に対する姿勢やものごとを捉える視点の厳しさは今後とも参考にさせていただこうと思います。

私を体操競技に関する技術研究の世界へ導いてくださったのは、故塚脇伸作教授でした。塚脇先生に最初にご指導をいただいたのは、私が早稲田大学教育学部に入学した 1982 年のことですが、学部生時代にはスポーツのトレーニングにおいて「理論」が重要であることを教えていただきました。1989 年に博士課程に進学した際、「土屋君が私の教え子で始めて博士課程に進学した」と喜んでくださったのを昨日のことのよう思い出します。それから 20 年近く経て、ようやく博士論文を提出するというのは私の浅学菲才と怠惰以外に原因はありません。体操競技の指導や研究において頻繁に壁に当たる私を、常に温かく見守ってくださり、励ましてくださった塚脇先生のご霊前に謹んで本論文を捧げたいと思います。

ここにお一人お一人のお名前をあげることはできませんが、これまでご指導とご協力をいただいたすべての皆様に心より感謝申し上げます。

資料

- 1) 土屋純, 塚脇伸作: ゆかにおける後転とびのバイオメカニクスの分析. 早稲田大学人間科学研究, 5:9-58, 1992.
- 2) 土屋純, 山脇恭二, 高岡治: 異なる運動形態をもつ後転とびの比較分析. 体操競技研究, 1:21-30, 1993.
- 3) 土屋純: 新しい運動形態をもつ後転とびの踏み切り技術の分析. スポーツ方法学研究, 7:1-8, 1994.
- 4) 土屋純: 関節で発揮されるパワーが運動課題の達成に及ぼす影響. 早稲田大学体育学研究紀要, 28:33-40, 1996.
- 5) 土屋純: 段違い平行棒における後方車輪の回転速度と関節でなされる力学的仕事との関係. スポーツ方法学研究, 10(1):11-16, 1997.
- 6) 土屋純, 村田浩一郎, 金久博昭, 福永哲夫: 鉄棒運動におけるけ上がりの運動技術に関する研究. トレーニング科学, 16(1):15-21, 2004.
- 7) Jun Tsuchiya , Koichiro Murata, Tetsuo Fukunaga : Kinetic analysis of backward giant swing on parallel bars. International Journal of Sport and Health Science, 2:211-221,2004
- 8) 土屋純, 村田浩一郎, 福永哲夫: 平行棒における「後方車輪から後方かかえ込み 2 回宙返り腕支持 (ベーレ)」実施時に関節で発揮されるトルクとパワー. トレーニング科学, 18(4):353-364, 2006.
- 9) 土屋純, 田中光: 平行棒における「後方車輪から後方かかえ込み 2 回宙返り腕支持 (ベーレ)」の運動力学的分析. スポーツ科学研究, 1:1-9,2004.
- 10) 土屋純, 村田浩一郎: 平行棒における「後方車輪から屈身 2 回宙返り腕支持」のバイオメカニクスの分析. スポーツ科学研究, 2:20-28,2005.