

2018 年度 修士論文

男子体操競技の平行棒における終末姿勢が異なる
3つの懸垂前振り上がり系技の比較

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5 0 1 7 A 0 0 3 - 8

浅野 佑樹

研究指導教員： 土屋 純 教授

目次

第 1 章 緒言	1
1.1 体操の源流	1
1.2 体操競技	2
1.3 男子平行棒の種目特性	4
1.4 終末姿勢の異なる 3 つの懸垂前振り上がり系技	7
1.5 先行研究	10
1.6 目的	10
第 2 章 方法	11
2.1 被験者	11
2.2 実験課題とデータ収集	12
2.3 分析項目と算出方法	14
2.4 分析範囲と局面の定義	16
2.5 データ処理	17
第 3 章 結果	18
3.1 スティックピクチャ	18
3.2 各局面に要した時間	19
3.3 離手時の変数	21
3.4 身体重心位置の変化	22
3.5 空中局面における身体重心の最高到達位置	23
3.6 身体重心の速度	24
3.7 肩関節の運動	26
3.8 股関節の運動	30
3.9 身体重心まわりの角運動量	34
3.10 関節でなされた仕事	35
3.11 離手時の身体重心まわりの角運動量と関節トルクとの関係	36
第 4 章 考察	37
4.1 異なる終末姿勢を決定づける要因	37
4.2 振り下ろし局面	37
4.3 懸垂前振り上がり局面	38
4.4 空中の高さについて	41
4.5 モイ、ティッペルト、バブサーの類似点	42
4.6 バブサーの技術的ポイント	43
第 5 章 結論	44
5.1 研究のまとめ	44
5.2 研究の限界と今後の展望	45
文献	46
謝辞	48

第1章 緒言

1.1 体操の源流

「体操」は、古代ギリシャ語の「ギムナスティケー」を語源とした gymnastics の訳語である。ギムナスティケーは、「『ギムノス』(はだか、からだ)と『テクネ』(技術)の合成語」(木下, 2015)である。

体操競技の源流は、1811年にドイツのヤーン(F.L.Jahn,1778-1852)が提唱した「Turnen(ツルネン)」であると言われている(金子, 1985)。図1のように、「ジムは本来屋外であった」(木下, 2015)が、「体操禁止令(1820-1842)」の影響で、ツルネンが屋内で実施されると巧技形式の運動に人気が集まり、「新しい運動の開発」と「どれほど上手にできるのかを競うことへと進んだ」とされている(吉田, 1984)。



図 1 アマスト大学最初のジム(1830年頃)回想描写図

出典：木下(2015), (アマスト大学アーカイブス蔵)

1.2 体操競技

体操競技は、器械の上で行われる演技の難しさと出来栄えを競う採点競技である。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。体操競技では各種目において実施された演技は、それぞれ複数の審判員により採点される。そして、それらの合計得点によって競技の勝敗が決められる。審判員は、採点のための規則すなわち採点規則に則って客観的な評価を行う。採点規則には、演技の採点に関する規則や各種目の技が記載されている。採点規則はおよそ 4 年に 1 度の周期で改訂される。2006 年の改訂では、10 点満点の採点制度が廃止され、選手には高難度技を数多く演技に組み入れることが要求されるようになった。現行の規則では、「演技の決定点は D スコアと最終的な E スコアの合計によって算出される」(公益財団法人日本体操協会, 2017)。D スコアとは、演技内容についての得点である。D スコアは、最大で 10 個の技の難度価値点と要求されたグループの技の得点を合計して算出される。技の難度価値点は 0.1 点(A 難度)から 0.9 点(I 難度)までである。D スコアを向上させるには、幅広い技のグループからより高い難度の技で演技を構成する必要がある。一方、E スコアとは、演技実施についての得点であり、「10.00 から 0.10 単位の減点によって算出される」(公益財団法人日本体操協会, 2017)。減点の項目には、美的・実施欠点と技術的欠点がある。「すべての技は、完璧な終末姿勢や実施と対比され」(公益財団法人日本体操協会, 2017)、すべての逸脱行為は欠点として減点される。こういった体操競技で行われる運動の評価は、身体が何回転したか、どのような姿勢で実施されたか、どれだけ珍しい実施であったかによって難しさが決められる。金子(1985)はこういった特性を「非日常的驚異性」と表現した。また、体操競技では、演技中の無用な関節の曲がりや過剰な演出は野暮な捌きである。こういった特性を金子(1985)は「姿勢的簡潔性」と表現した。採点規則の改訂や器械の変遷により、演技で実施さ

れる技は変化してきた。そして、現在も選手らによって技は創作され、発展し続けている。体操競技は時代とともに変化した部分も多いが、体操競技の本質的な特性は今も昔も変わらない。

体操競技の技を習得・習熟するには、運動技術を考慮したトレーニングによって技能の向上が行われなければならない。体操競技では、「技(運動)の系統発生を良く理解し、指導していく」(加納, 2015)ことが求められている。また、運動学習の観点では「既知のものから未知のものへ」そして、「やさしいものからむずかしいものへ」と進められるべきであるとされる(グロッサーら, 2007)。膨大な数ある体操競技の技の中でもより高難度の技を習得するには、同系統の技をできるだけやさしいものから順に指導していくべきであると考えられる。

選手に技を指導するには、「運動技術の明確化」(土屋, 2007)によって、技に関する情報を熟知しなければならない。運動技術とは、「与えられた運動課題を合目的的に解決する具体的な仕方」(金子, 1985)のことである。土屋(2007)によれば、体操競技の技を明確にするには、主観的情報と客観的情報の2つが必要であるとされる。そして、体操競技で行われるような非日常的な運動の構造を明らかにするには、バイオメカニクスの運動分析は有効である。しかしながら、技に関するバイオメカニクスの分析は盛んに行われているとは言えない。体操競技の技を選手に出来るようにさせるには、ひとつひとつの技を明らかにすることが重要であろう。

1.3 男子平行棒の種目特性

図 2 は、競技用の平行棒を真横から撮影したものである。平行棒は、金属製の支柱部分と支柱に支えられた 2 本の木製の棒で構成されている。平行棒は、マット面からの高さが 1.8m、全長は 3.5m である。平行棒の支柱の幅は約 0.5m である(図 3)。棒は、断面から見ると楕円形をしている(図 4)。平行棒の表面には、木目が見られるが、内側にはグラスファイバー芯が入っている。そのため、荷重が加わることによって棒はしなる構造になっている。

平行棒には、4 つの技のグループ(図 5)がある。技のグループ点を満たすには、両棒で支持する技、上腕部で支持振動する技、平行棒に懸垂位で行われる技、終末の下り技をそれぞれのグループから少なくとも 1 つ以上の技を演技で実施しなければならない。演技で実施する技は、同じ技のグループから 5 つまで実施することができる。演技は、種目特性に応じて構成されなければならない。

2017 年度版採点規則(公益財団法人日本体操協会, 2017)によれば、平行棒の技は 178 個記載されており、選手は、それらの中から演技で行う技を習得・習熟する。男子平行棒では、「長懸垂系と逆懸垂系が同じ技のグループとなり、また棒下系の技数が制限されたことも影響し、モイヤーバブサー、ティップペルトを構成に入れた演技が増えた。」(公益財団法人日本体操協会, 2018)とある。これら 3 つの技は「懸垂前振り上がり」を共通の課題とする同系統の技である。

指導者は世界の動向を見極めながら、より新しい技術を追求している。選手らもまた、優れた選手の運動を観察し、それを模倣することで技の習得が行われている。高難度技の運動は複雑化しているため、闇雲な練習では習得に時間が掛かるだけでなく、危険も伴う。バブサーをはじめとする高度な技の技術を明確にすることは、安全な技の指導や習得を行うための段階トレーニングを構築する際に役に立つと思われる。



図 2 真横から見た平行棒



図 3 正面から見た平行棒

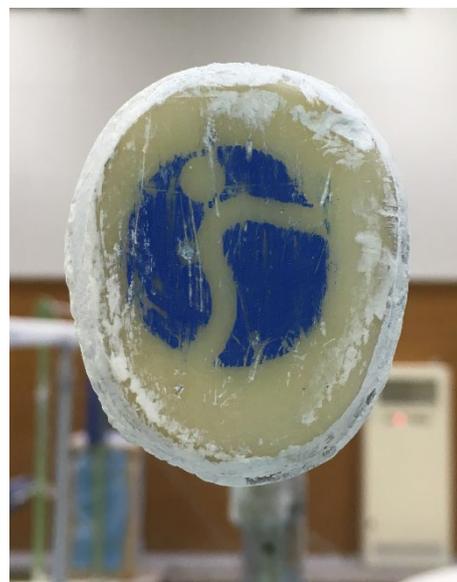
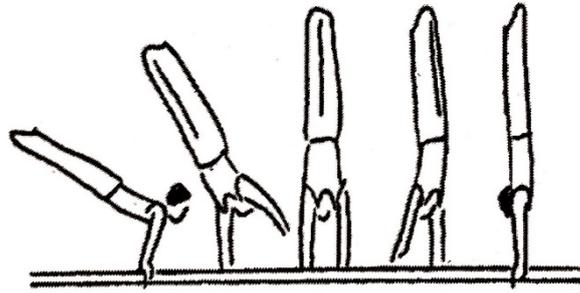
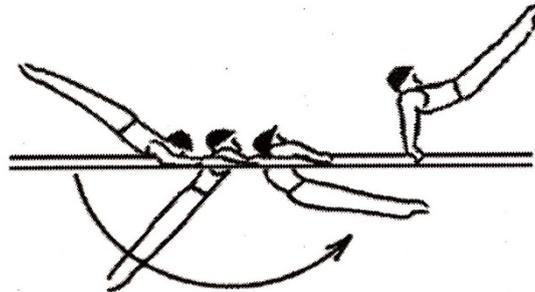


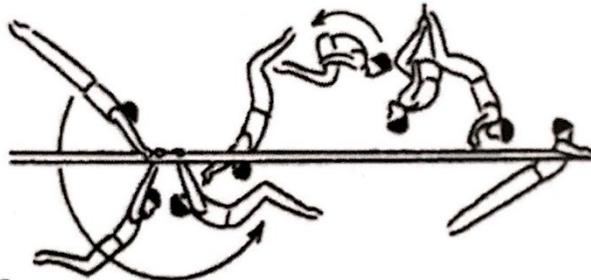
図 4 棒の先端部



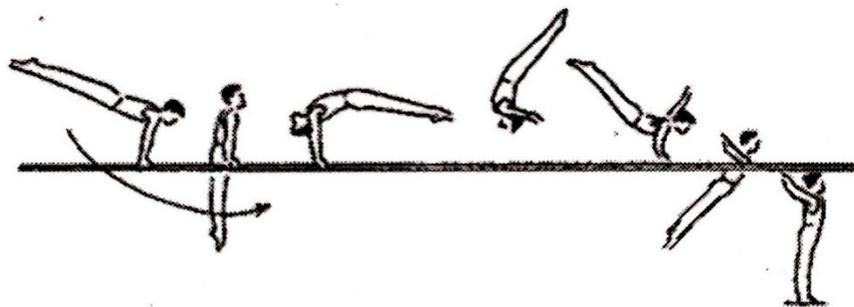
グループ I 両棒での支持技の例(正倒立ひねりの図)



グループ II 腕支持振動技の例(前振り上がりの図)



グループ III 長懸垂・逆懸垂振動技の例(ペーレの図)



グループ IV 終末技の例(後方伸身宙返りの図)

図 5 平行棒の技のグループの代表的な技の例

1.4 終末姿勢の異なる 3つの懸垂前振り上がり系技

1.4.1 「バブサー」

図 6 はバブサーの模式図である。バブサーは、2009 年のワールドカップモスクワ大会でラージ・バブサー選手によって発表された。バブサーの正式名称は、「懸垂前振り上がり開脚抜き伸身かつ水平位で懸垂」であり、技の難度は、E 難度である。バブサーの運動課題は、倒立位から懸垂前振りをしたあと、平行棒から手を離し、平行棒より高い位置で開脚抜きをして、マットに腹を向けた伸身かつ水平な姿勢になり、再び平行棒に懸垂することである。バブサーの理想的な終末姿勢は、手、肩、腰、膝、足先までが一直線となる伸身かつ水平な姿勢である。

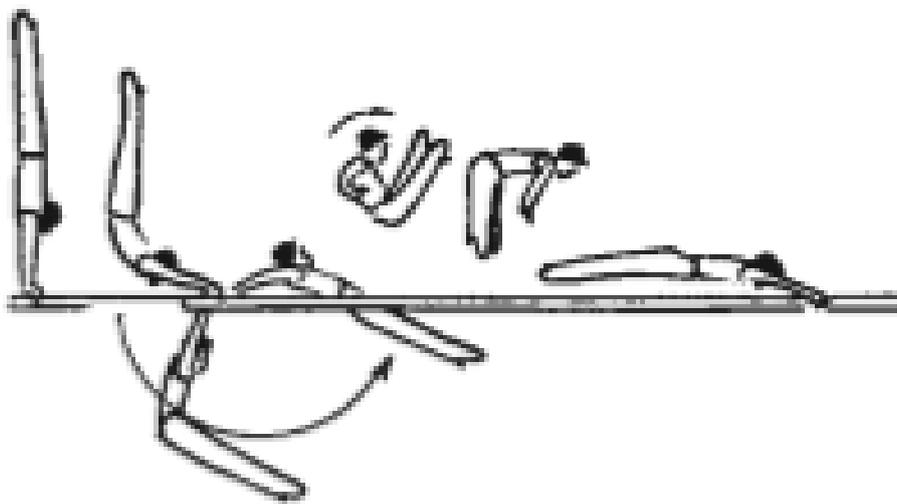


図 6 バブサーの模式図

出典：公益財団法人日本体操協会（2017）

1.4.2 「モイ」

図7は、モイの模式図である。モイの正式名称は、「振り下ろして懸垂前振り上がり支持」である。技の難度は、C難度である。モイの運動課題は、倒立位もしくは平行棒を支持した姿勢から、懸垂前振り上がりをして、背面支持姿勢になることである。モイの理想的な終末姿勢は、肩よりも足先が前方かつ高い位置にある背面支持の姿勢である。

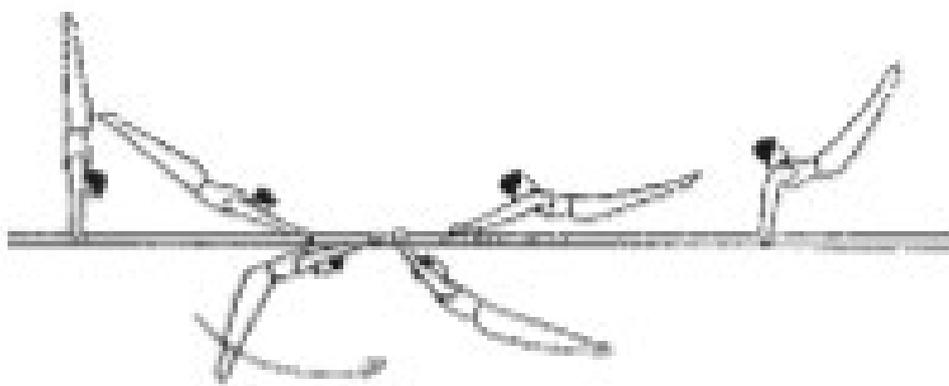


図 7 モイの模式図

出典：公益財団法人日本体操協会（2017）

1.4.3 「ティツペルト」

図 8 は、ティツペルトの模式図である。ティツペルトは、1986 年のワールドカップ北京大会でスベン・ティツペルト選手によって発表された。ティツペルトの正式名称は、「倒立から伸膝で振り下ろして懸垂前振り上がり開脚抜き倒立」であり、技の難度は、D 難度である。ティツペルトの運動課題は、倒立位から懸垂前振りをして、平行棒より高い位置で脚を左右に開いて平行棒を支持し、停滞することなく倒立位に至ることである。ティツペルトの終末姿勢は倒立位である。倒立位に至る運動は開脚抜きから停滞せずに、行われることが望ましい。

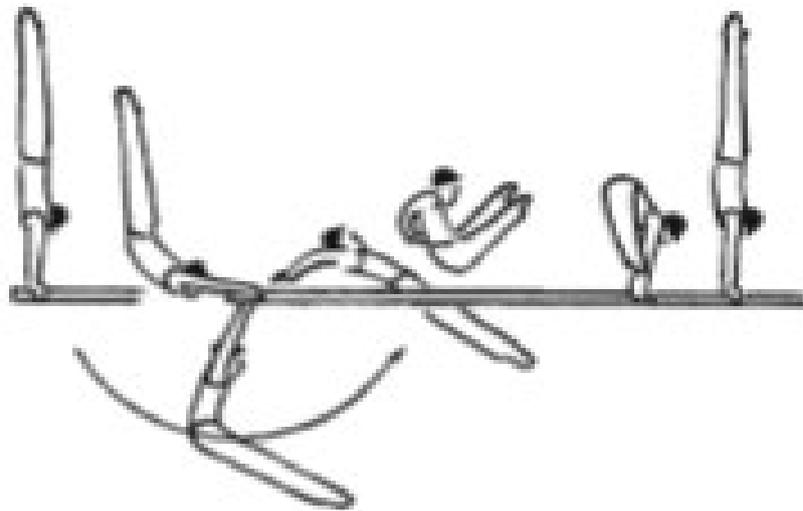


図 8 ティツペルトの模式図

出典：公益財団法人日本体操協会（2017）

1.5 先行研究

モイ、ティツペルト、バブサーは、「懸垂前振り上がり」という共通の運動課題をもった男子平行棒の技である。身体が振り下ろされていく局面において腰角度を大きくした振り下ろしの技術は、東独・ソ連の一部の選手によって開発されたものである(加納ら,1991)。加納ら(1991)によれば、倒立から振り下ろされていく時の身体が「腰角度増大(反り身体勢)により足先の速度減衰を実施し、より雄大で大きな懸垂前振りへ移行」したと言われている。

村田ら(2015)のバブサーとティツペルトを比較した研究では、被験者の「意識的操作として『あて方』に違い」があったことを報告している。ここでいう「あて」とは、懸垂前振り上がりをして、手が離される瞬間に肩関節と股関節の角度を増大させて身体を一気に反る動作のことである。

モイ、ティツペルト、バブサーの「懸垂前振り上がり」は共通の運動であるにも関わらず、平行棒から手が離された後の運動経過と終末姿勢は大きく異なる。平行棒の懸垂前振り上がりに関する研究はこれまでも行われてきたが、モイとティツペルトとバブサーの運動を比較し、これらの技の運動差異をバイオメカニクスの的に比較した研究は見当たらない。

1.6 目的

本研究の目的は、終末姿勢の異なる 3 つの懸垂前振り上がり系技(モイ、ティツペルト、バブサー)の運動をバイオメカニクスの的に分析し、これらの運動の差異を明らかにすることであった。そして、モイとティツペルトとの比較を通して、バブサー実施時の技術的なポイントを探ることとした。

第2章 方法

2.1 被験者

本研究の被験者は、大学生体操競技の男子選手 9 名であった(表 1)。実験は、2018 年 3 月 13 日から 2018 年 8 月 25 日の期間に行われた。

表 1 被験者の身体的特徴と年齢

試技者	身長[m]	体重[kg]	年齢[歳]
A	1.580	53.4	21
B	1.611	54.1	21
C	1.648	57.8	20
D	1.581	58.8	20
E	1.594	56.7	19
F	1.611	55.6	19
G	1.640	57.1	18
H	1.619	58.0	19
I	1.580	54.2	19
平均	1.607	56.2	19.6
±S.D.	0.024	1.8	1.0

実験に先立って被験者には研究の目的、実験の内容、データの取り扱いなどを説明し、実験中に危険を感じた場合や体調不良によって実験が継続できない場合には、自らの意思で実験が中止できることを伝え、口頭にて協力の同意を得た。なお本研究は早稲田大学研究倫理委員会の承認を得た(承認番号 2018—129)。

2.2 実験課題とデータ収集

実験課題は、モイ、ティツペルト、バブサーであった。モイとティツペルトは被験者 9 名全員によって実施された。バブサーは被験者の内 6 名によって実施された。被験者の開始姿勢を統一するため、2 秒間以上の倒立静止から各実験課題を開始するように伝えた。各実験課題を複数回実施させ、被験者が最も良いと判断した 1 試技を分析対象とした。

試技の撮影は、カメラの光軸が平行棒と直交するように、デジタルビデオカメラ (SONY 社製、HDR-CX560V) を用いて行った。カメラは平行棒の側方 10.0 m、1.9 m の地点に設置した (図 9)。実験時の撮影設定はフレームレート 60 fps、シャッタースピード 1/1500 s であった。撮影された映像から、被験者の身体計測点 10 点 (つま先、かかと、外踝、膝関節、大転子、肩関節、肘関節、手関節、指先、頭頂) を動作解析システム FrameDIAS-V (DKH 社製) を用いてデジタル化することによって、画像上の位置座標データを取得した。取得した位置座標データは、2 次元座標上の既知の 4 点を用いて実長に換算し、実空間座標を算出した。

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 座標ごとに残差分析法 (Winter, 2011) により、最適遮断周波数を求め、位相ずれのない 4 次の Butterworth digital filter (2.4~3.6 Hz) で平滑化した。静止座標系の原点は、試技開始時の指先の位置と定義した。また、運動の進行方向を X 方向、鉛直上向きを Y 方向と定義した (図 10)。本研究では、Senoh 社製の平行棒を使用した。これは、日本で行われる競技会で広く使われている器械であった。

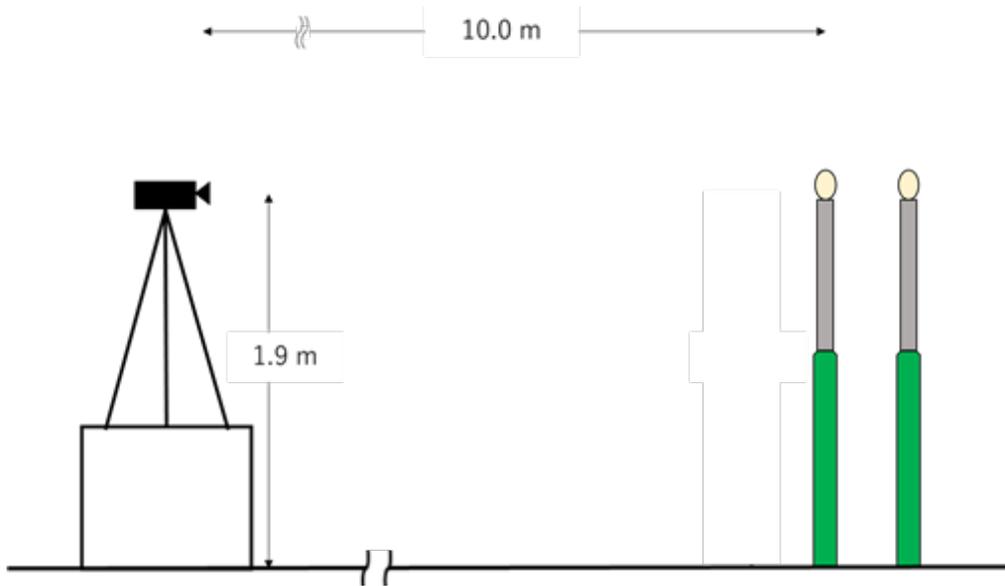


図 9 撮影環境の模式図

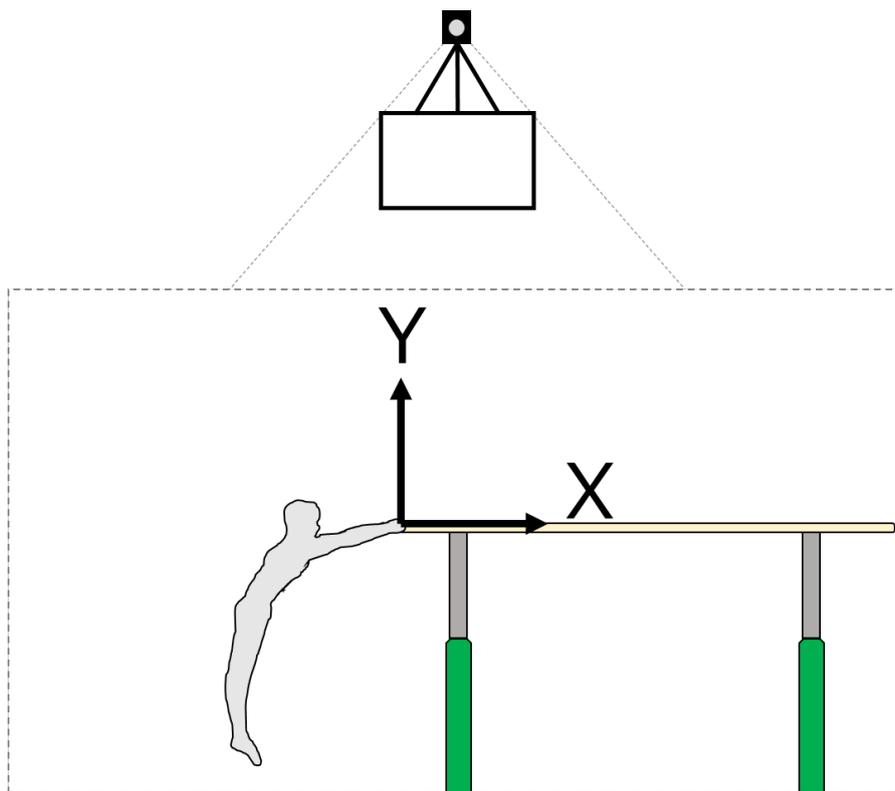


図 10 実験設定の模式図

2.3 分析項目と算出方法

まず身体を頭部、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た。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、身体の重心位置、身体各セグメントの重心位置ならびに各セグメントの慣性モーメントを算出した。図11のように肩関節角度と股関節角度を定義した。肩関節角度は解剖学的正位の姿勢を屈曲伸展 0° とし、屈曲方向を正、伸展方向を負とした。股関節角度は解剖学的正位の姿勢を伸展 180° とし、伸展方向を正、屈曲方向を負とした。図12のように身体の回転角度(以下、RA)を算出した(土屋, 2005)。身体計測点と各セグメント重心位置および各関節角度をそれぞれ時間微分することによって身体計測点と各セグメント重心の速度、各関節の角速度を求めた。さらに身体計測点と各セグメント重心の速度、各関節の角速度をそれぞれ時間微分することによって身体計測点と各セグメント重心の加速度、

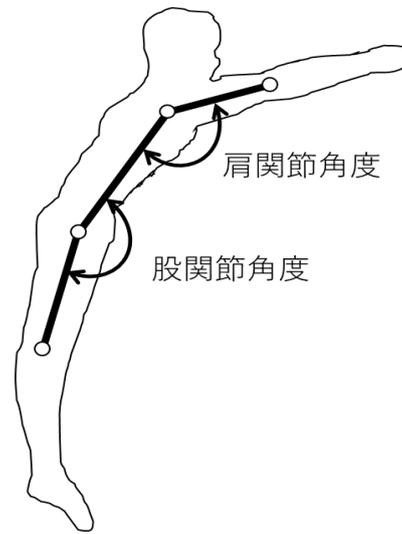


図 11 関節角度の定義

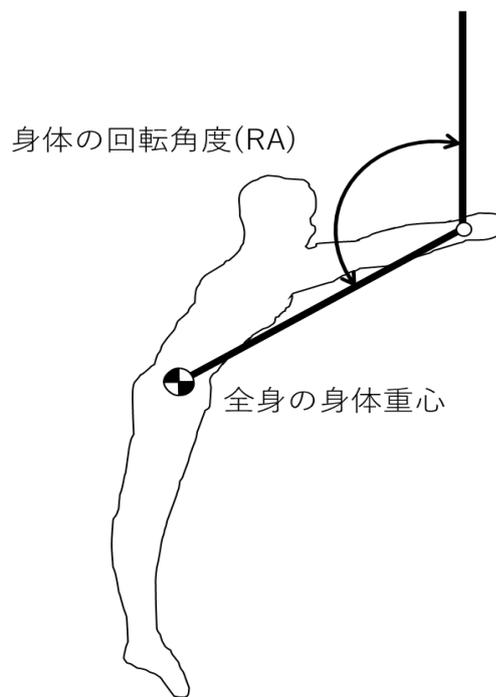


図 12 身体の回転角度の定義

各関節の角加速度を求めた。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, 2011)を立て、足部から順に解くことによって、関節トルクを算出した。肩関節トルクは屈曲方向を正の値、伸展方向を負の値とした。股関節トルクは、伸展トルクを正の値、屈曲方向を負の値とした。また、関節トルクは左右の合計とし、被験者の身体質量で除することで標準化した。さらに、関節トルクと関節角速度の積から関節パワーを算出した。また、RA5° ~ 240° 間で発揮された関節パワーは、RA5° ~ 180° までと RA180° ~ 240° までをそれぞれ時間積分することで肩関節と股関節でなされた仕事を算出した。角運動量は、次式 1 の Hay ら(1977)の方法で算出した。

$$H_z \equiv \sum_{i=1}^N [(I_z)_i (\omega_z)_i + m_i (r_{sz})_i^2 (\omega_{sz})_i] \quad \text{式 1}$$

ここで H_z は、X Y 平面における身体の水平軸まわりの全身の身体重心まわりの角運動量、 I_z は各セグメントの慣性モーメント、 ω_z は各セグメントの重心まわりの角速度、 m_i は各セグメントの質量、 r_{sz} は身体重心から各セグメント重心までの距離、 ω_{sz} は身体重心の速度に対する各セグメント重心の相対速度である。全身の身体重心まわりの角運動量は、身長²と体重の積で除すことで標準化した(Hinrichs ら 1987)。

2.4 分析範囲と局面の定義

試技の分析範囲は、開始から懸垂前振りを経過して平行棒から手が離れたあと、再び平行棒に着手するまでとした。

なお、本研究では、図 13 で示したように、RA5° ~ RA180° 時点までを振り下ろし局面、RA185° ~ 離手時点までを懸垂前振り上がり局面、離手から着手までを空中局面と定義した。

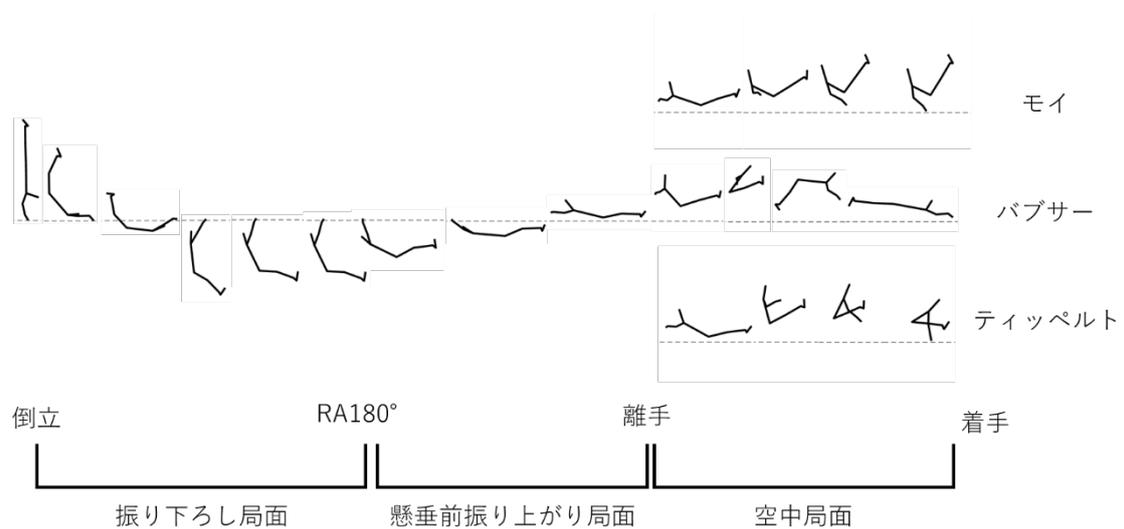


図 13 各技の分析範囲と局面の定義

2.5 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、算出した身体重心位置(X、Y)、身体重心速度(X、Y)、身体重心まわりの角運動量、肩関節と股関節の角度、角速度、関節トルク、パワーのデータについて、土屋(2005)の方法を用いて、身体の回転角度で規格化し、RA5°ごとの値を算出した。

3つの技の差を調べるため、各変数について、対応のない一元配置分散分析を行った。さらに、主効果が見られた場合には、事後検定としてGames-Howell法による多重比較を行った。また、身体重心まわりの角運動量と、肩関節と股関節で発揮されたトルクの関係を調べるため、ピアソンの積率相関係数を算出した。なお、統計処理の危険率は5%水準とした。これらの統計処理には、統計分析ソフト(SPSS Statistics, ver25, IBM社製)を用いて行った。

第3章 結果

3.1 スティックピクチャ

図 14 は、1 名の被験者がモイ、ティッペルト、バブサーを実施した際の離手時点を 0 とし、前後 6 コマおきに示したスティックピクチャである。

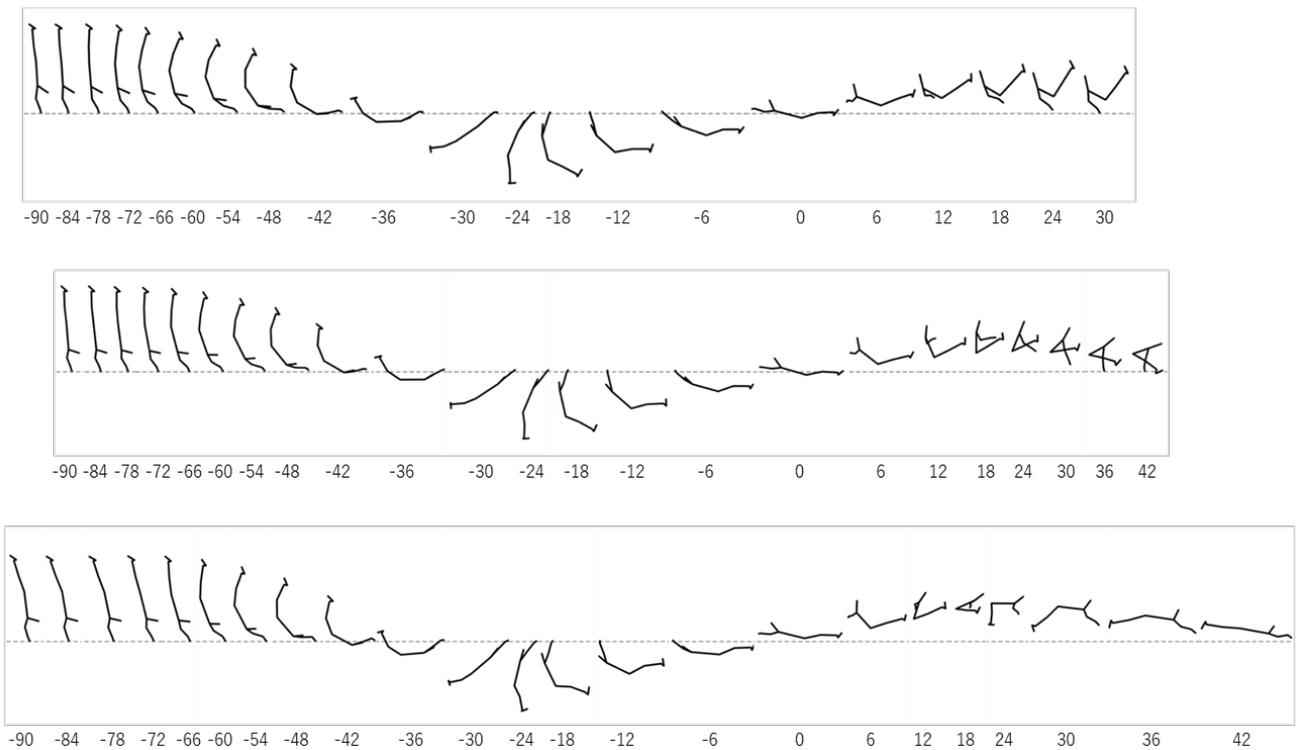


図 14 試技の典型例

上：モイの典型例のスティックピクチャ

中：ティッペルトの典型例スティックピクチャ

下：バブサーの典型例スティックピクチャ

3.2 各局面に要した時間

図 15 に、モイ、ティッペルト、バブサーについて、各技の局面ごとに要した時間を示した。

振り下ろし局面について、モイの最小（1.10 s）は H 選手であり、最大（1.52 s）は C 選手であった。ティッペルトの最小（1.17 s）は A 選手であり、最大（1.58 s）は C 選手であった。バブサーの最小（1.22 s）は G 選手であり、最大（1.45 s）は F 選手であった。

懸垂前振り上がり局面について、モイの最小（0.28 s）は E 選手であり、最大（0.35 s）は F 選手であった。ティッペルトの最小（0.25 s）は H 選手であり、最大（0.37 s）は F 選手であった。バブサーの最小（0.28 s）は H 選手であり、最大（0.35 s）は F 選手と G 選手であった。

空中局面について、モイの最小値（0.27 s）は B 選手、F 選手、G 選手であり、最大値（0.45 s）は A 選手であった。ティッペルトの最小値（0.43 s）は E 選手と H 選手であり、最大値（0.60 s）は C 選手であった。バブサーの最小値（0.58 s）は F 選手、G 選手であり、最大値は（0.67 s）は D 選手であった。

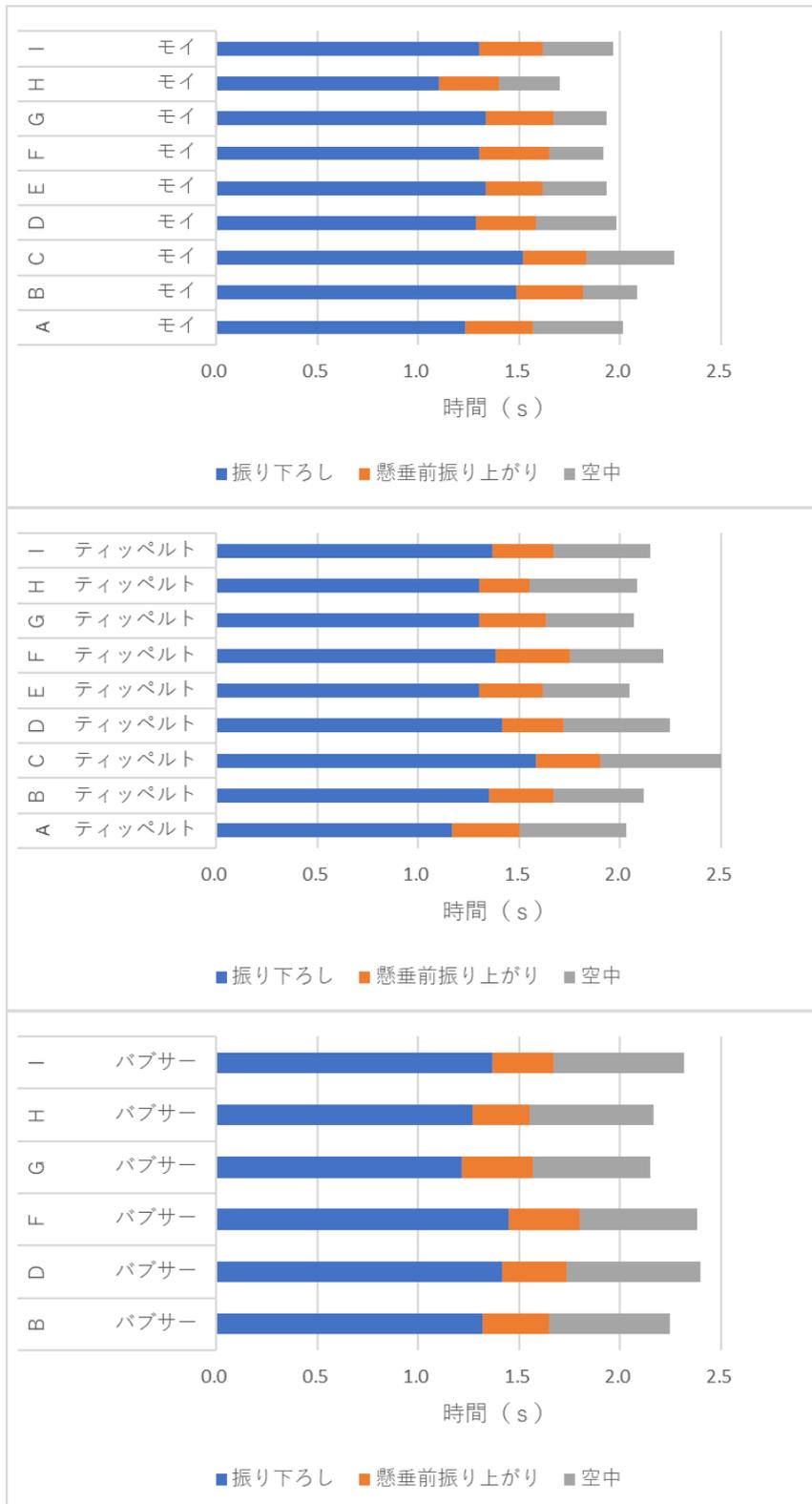


図 15 各局面の時間

上：モイ、中：ティッペルト、下：バブサー

3.3 離手時の変数

表 2 に、モイ、ティッペルト、バブサー実施時の、離手時の身体重心の位置および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。

離手時の身体重心位置は、モイ、ティッペルト、バブサーの 3 群の間には有意な差は見られなかった(表 2)。

離手時の身体重心の水平速度は、モイ、ティッペルト、バブサーの 3 群の間には差が見られなかった(表 2)。身体重心の鉛直速度も、モイ、ティッペルト、バブサーの 3 群の間には差が見られなかった。

離手時の身体重心まわりの角運動量は、モイがティッペルトとバブサーに比べて有意に大きな値を示し、ティッペルトがバブサーと比べて有意に大きな値を示した($p < 0.01$)。

表 2 離手時の変数

	身体重心の鉛直位置 (m)	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 ⁻¹)	
モイ	-0.11 ± 0.10	1.19 ± 0.32	3.26 ± 0.16	0.057 ± 0.051	$\left. \begin{array}{l} * \\ * \\ + \\ + \end{array} \right\} \begin{array}{l} ** \\ ** \\ ++ \\ ++ \end{array}$
ティッペルト	-0.10 ± 0.11	1.30 ± 0.37	3.33 ± 0.24	-0.142 ± 0.069	
バブサー	-0.05 ± 0.10	1.21 ± 0.35	3.43 ± 0.18	-0.264 ± 0.049	

**：モイとティッペルトで有意差あり($p < 0.01$)

††：ティッペルトとバブサーで有意差あり($p < 0.01$)

‡‡：モイとバブサーで有意差あり($p < 0.01$)

3.4 身体重心位置の変化

図 16 に、モイ、ティッペルト、バブサーについて、RA15° から離手までの身体重心位置の変化を示した。

身体重心位置に関して RA5° から離手までは、モイとティッペルトとバブサーの 3 群の間に有意な差は見られなかった。各技の身体重心の軌跡は、RA5° ~ RA105° 時点までは後方かつ下方へ移動した。RA110° ~ RA175° 時点まで前方かつ下方へ移動した。RA180° 時点 ~ 離手までは前方かつ上方へ移動した。

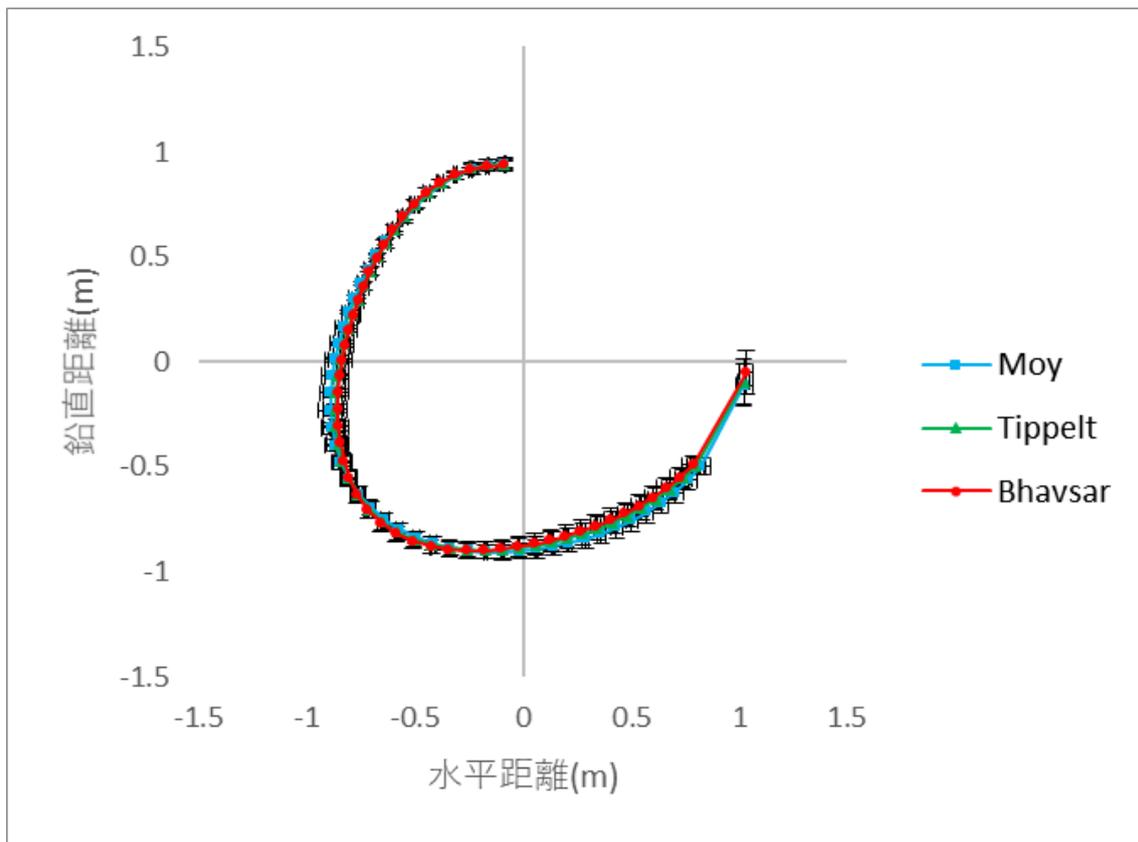


図 16 身体重心位置の変化

3.5 空中局面における身体重心の最高到達位置

図 17 に、技ごとの身体重心の最高到達位置（平行棒の高さを 0 m とする）の平均と標準偏差を示した。各技の平均値(モイ： 0.43 ± 0.09 m、ティップペルト： 0.50 ± 0.09 m、バブサー： 0.58 ± 0.10 m)の群間には、いずれも有意な差は見られなかった。

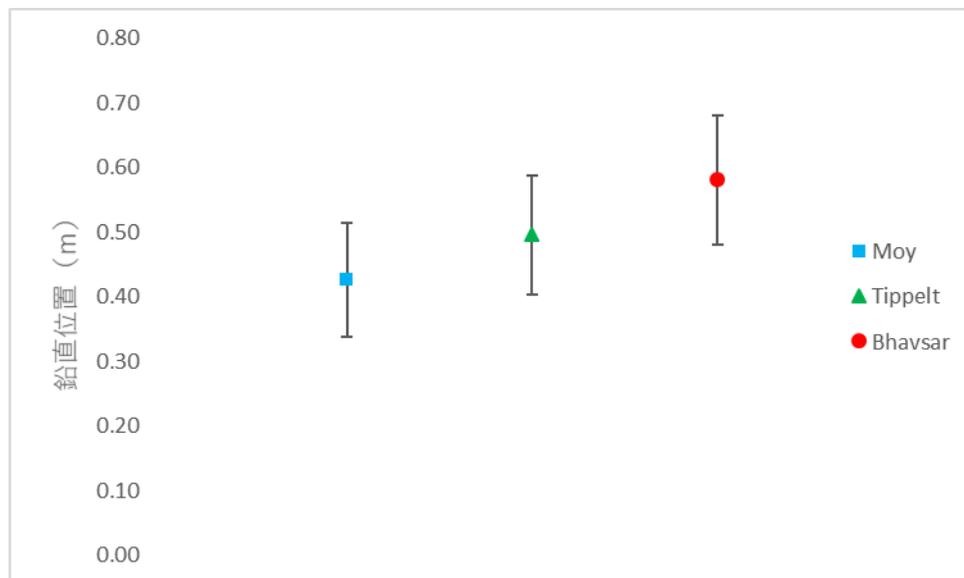


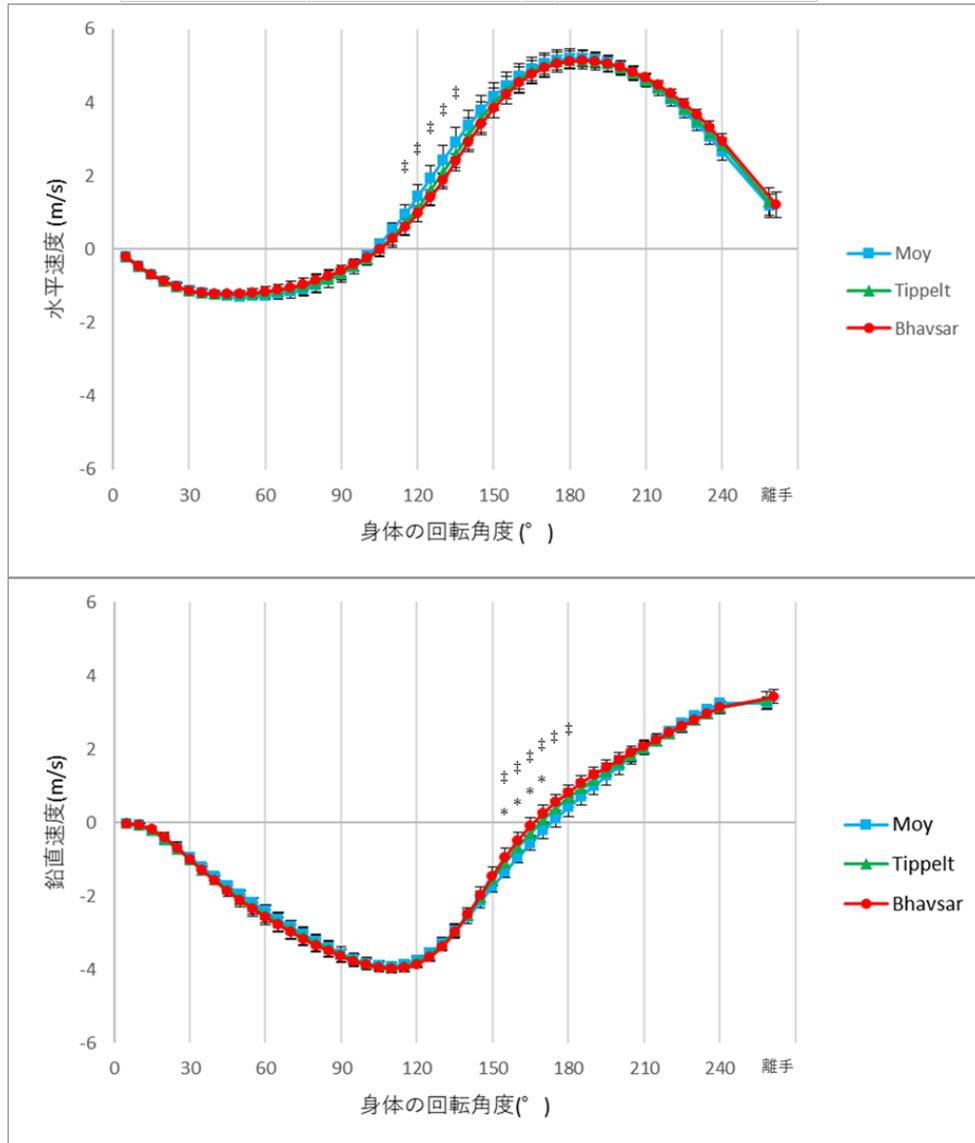
図 17 空中局面の最高到達位置の比較

3.6 身体重心の速度

図 18 に、モイ、ティッペルト、バブサーの RA5° から離手までの身体重心の速度変化を示した。

モイ、ティッペルト、バブサーの身体重心の水平速度は、RA5° ～ RA45° 時点まで減少、RA50° ～ RA185° 時点まで増大、RA190° ～ 離手まではなだらかに減少していた。RA115° ～ 135° 時点について、モイは、バブサーと比べて有意に大きな値を示した ($p < 0.05$)。各技の最小値は、モイ (-1.30 ± 0.07 m/s) は RA50° 時点で見られ、ティッペルト (-1.24 ± 0.08 m/s) とバブサー (-1.23 ± 0.08 m/s)) はそれぞれ RA45° 時点で見られた。各技の最大値 (モイ (5.20 ± 0.23 m/s)、ティッペルト (5.16 ± 0.24 m/s)、バブサー (5.14 ± 0.18 m/s)) はそれぞれ RA185° 時点で見られた。モイ、ティッペルト、バブサーについて、それぞれの水平速度の最小値と最大値には有意な差は見られなかった。

モイ、ティッペルト、バブサーの身体重心の鉛直速度は、RA5° ～ RA110° 時点まで減少、RA115° ～ RA240° 時点まで増大していた。RA155° ～ 170° の各時点について、モイは、ティッペルトとバブサーと比べて有意に小さな値を示した ($p < 0.05$)。さらに、RA175° ～ 180° 時点のモイ (RA175° : 0.12 ± 0.23 m/s, RA180° : 0.43 ± 0.24 m/s) は、バブサー (RA175° : 0.56 ± 0.21 m/s, RA180° : 0.84 ± 0.20 m/s) と比べて有意に小さな値を示した ($p < 0.05$) が、モイとティッペルト (RA175° : 0.39 ± 0.24 m/s, RA:180° : 0.67 ± 0.25 m/s) の間に有意な差は見られなかった。鉛直方向における各技の身体重心速度は、RA110° 時点でそれぞれの最小値 (モイ (-3.91 ± 0.11 m/s)、ティッペルト (-3.92 ± 0.14 m/s)、バブサー (-3.97 ± 0.11 m/s)) を示した。



- * : Moyとティップルトで有意差あり(p<0.05)
- † : ティップルトとバブサーで有意差あり(p<0.05)
- ‡ : Moyとバブサーで有意差あり(p<0.05)

図 18 身体重心の速度の変化
 上 : 身体重心の水平速度の変化
 下 : 身体重心の鉛直速度の変化

3.7 肩関節の運動

RA5° ~ 離手までの運動について、図 19.1 に肩関節の角度、角速度を、図 19.2 に肩関節のトルク、パワーの変化を平均値と標準偏差で示した。

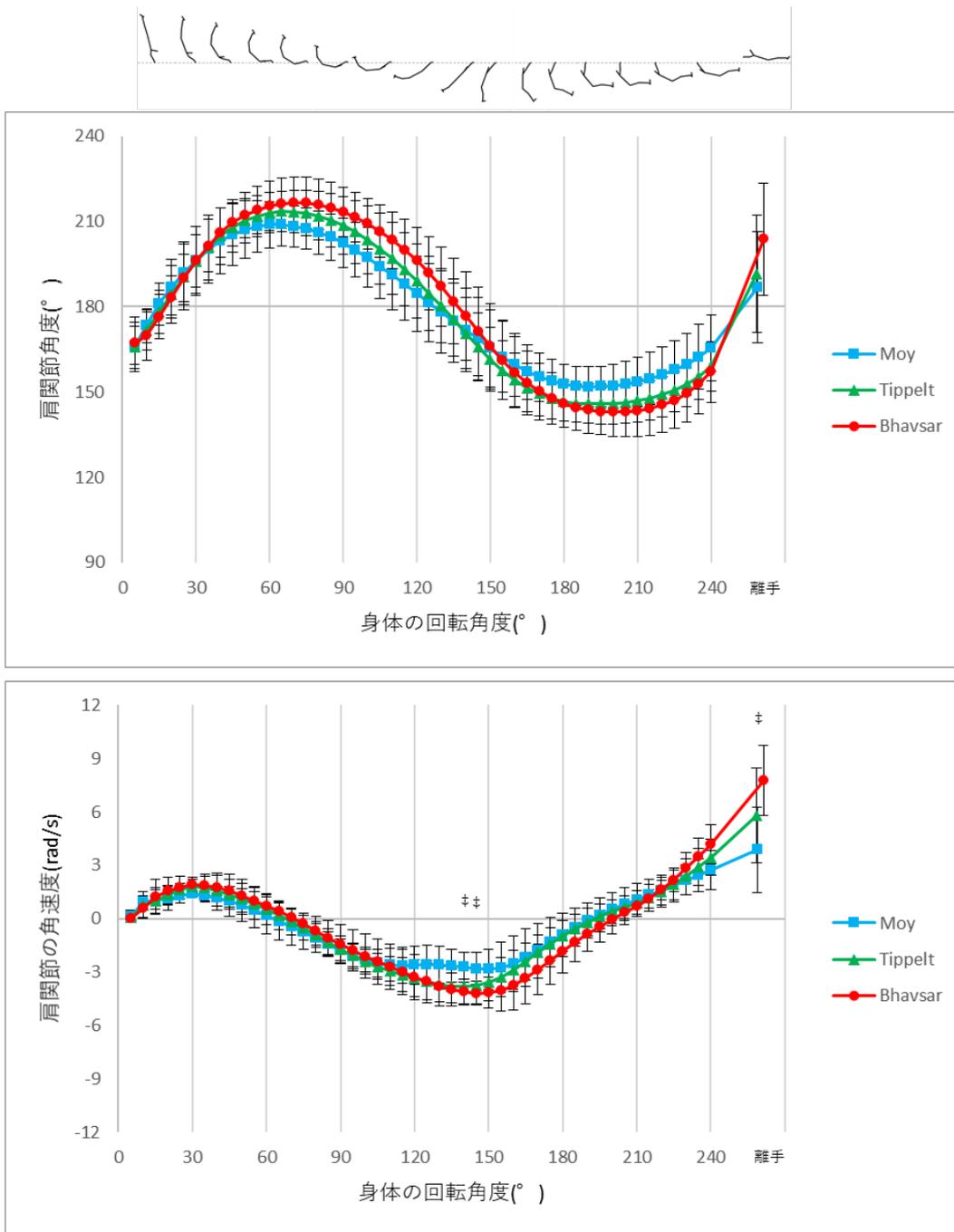
モイ、ティッペルト、バブサーの肩関節角度は増大、減少、増大という運動が共通して見られた。モイは、RA5° ~ RA65° 時点まで肩角度が増大するのに対し、ティッペルトとバブサーは RA5° ~ RA75° 時点まで増大していた。その後、モイは RA190° 時点、ティッペルトは 195° 時点、バブサーは RA200° 時点まで肩関節角度は減少していた。モイは RA195°、ティッペルトは RA200°、バブサーは RA205° ~ 離手まで肩関節角度は増大していた。モイ、ティッペルト、バブサーの離手までの運動には、肩関節角度の技による違いは見られなかった。

肩関節の角速度について、モイは RA5° ~ RA60° 時点まで、ティッペルトは RA5° ~ RA65° 時点まで、バブサーは RA5° ~ RA70° 時点まで正の値を示した。そして、モイとティッペルトは RA190° 時点まで、バブサーは RA200° 時点まで負の値を示した。その後、各技は離手に至るまで正の値を示した。肩関節の角速度の最小値は、モイ (RA150° :-2.84 ± 1.14 rad/s)、ティッペルト (RA140° :-3.82 ± 0.98 rad/s)、バブサー (RA145° :-4.20 ± 0.66 rad/s) であった。肩関節の角速度の最大値は、それぞれの技の離手時に見られ、モイ (3.87 ± 2.39 rad/s)、ティッペルト (5.81 ± 2.66 rad/s)、バブサー (7.75 ± 1.96 rad/s) の内、バブサーはモイに比べて有意に大きかった ($p < 0.05$)。ティッペルトは、モイより大きく、バブサーより小さい値であったが、有意な差は見られなかった。

肩関節トルクについて、モイは RA5° 時点、ティッペルトは RA5° ~ 10° 時点、バブサーは RA5° ~ 15° 時点で屈曲トルクが発揮されていた。そして、3つの技は、RA105° 時点まで伸展トルクが増大していた。モイとティッペルトは RA110° ~ 130° 時点で、バブサーは RA110° ~ 135° 時点で屈曲トルクを示した。その後、モイとティッペルトは RA135° ~ RA190° 時点まで伸展トルクが増大した。モイは RA225° 時

点で最大値 (2.96 ± 0.98 Nm/kg) を示し、ティッペルト (5.30 ± 1.19 Nm/kg) とバブサー (6.73 ± 0.49 Nm/kg) は RA230° 時点で最大値を示した。その後、3つの技は離手まで屈曲トルクが減少していた。RA215° ~ RA240° 時点について、モイとバブサーは RA215° ~ 240° 時点にかけて、モイとティッペルトは RA220° ~ 240° 時点にかけて、ティッペルトとバブサーは RA230° ~ RA235° 時点にかけて有意な差が見られた ($p < 0.05$)。

肩関節パワーについて、3つの技は RA5° ~ RA15° 時点までほぼ0であった。モイは RA60° まで、ティッペルトは RA65° まで、バブサーは RA70° まで負のパワーが発揮された。そのあと、RA105° まで3つの技はそれぞれ同程度の大きさの正のパワーが発揮されていた。ティッペルトとバブサーは RA110° ~ RA135° 時点まで、負のパワーが発揮されていた。モイは RA130° 時点まで負のパワーが発揮された。モイは RA135° ~ 155° 時点まで、ティッペルトとバブサーは RA140° ~ 155° 時点まで正のパワーが増大した。3つの技は RA190° ~ 205° 時点でおおよそ0となり、その後、離手までは再び正のパワーが発揮された。RA140° ~ 145° 時点について、バブサーはモイよりも有意に小さな値であった ($p < 0.05$)。また、RA225° ~ 240° 時点にかけて、バブサーはモイよりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。

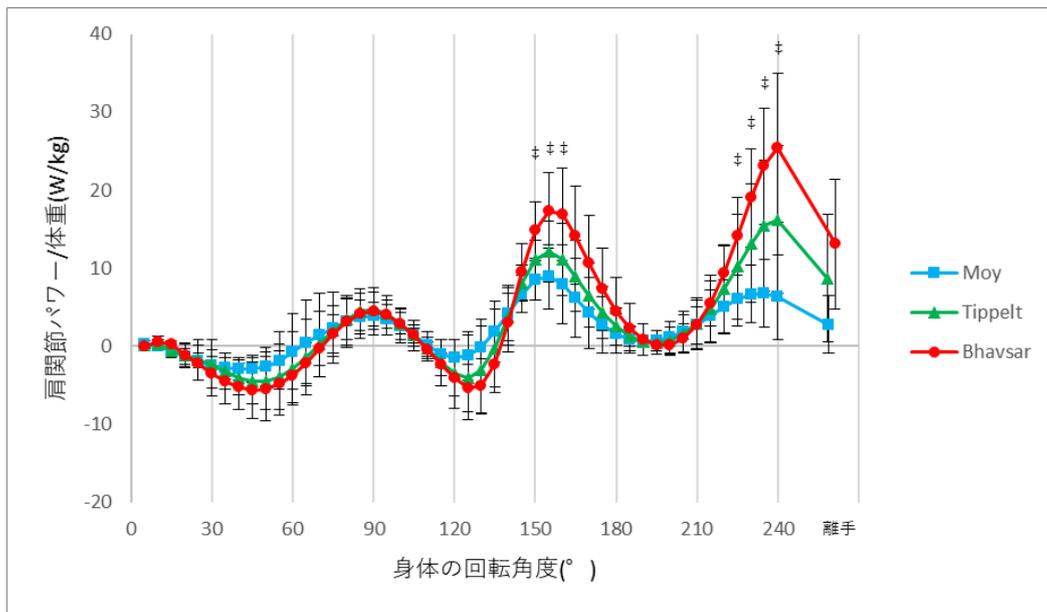
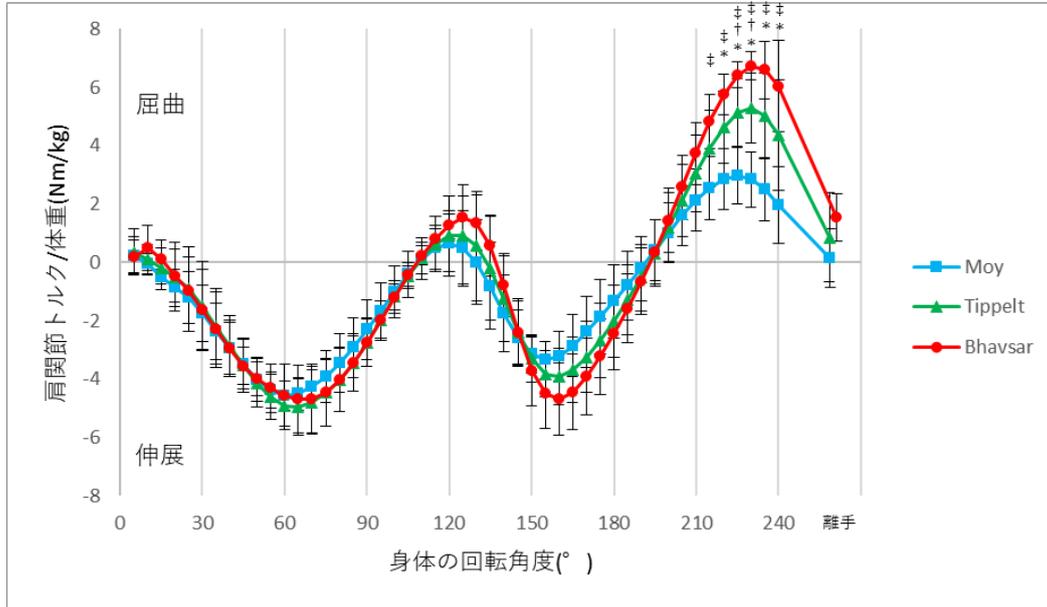
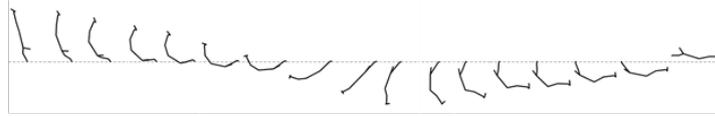


- * : Moyとティップルトで有意差あり(p<0.05)
- † : ティップルトとバブサーで有意差あり(p<0.05)
- ‡ : Moyとバブサーで有意差あり(p<0.05)

図 19.1 肩関節の諸変数の変化

上 : 肩関節角度の変化

下 : 肩関節角速度の変化



- * : Moyとティッペルトで有意差あり(p<0.05)
- † : ティッペルトとバブサーで有意差あり(p<0.05)
- ‡ : Moyとバブサーで有意差あり(p<0.05)

図 19.2 肩関節の諸変数の変化

上 : 肩関節トルクの変化

下 : 肩関節パワーの変化

3.8 股関節の運動

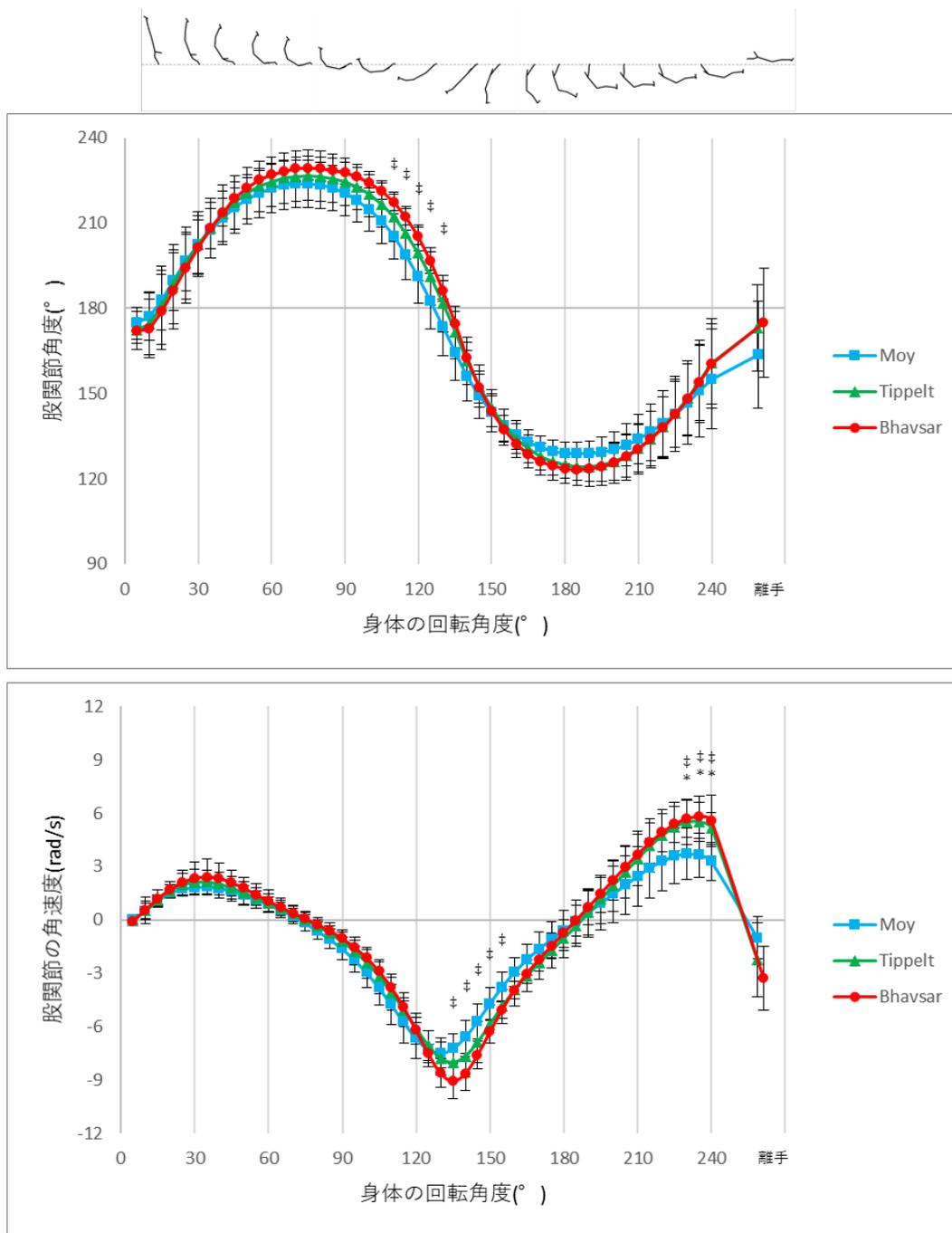
RA5° ~ 離手までの運動について、図 20.1 に股関節の角度、角速度を、図 20.2 に股関節のトルク、パワーの変化を平均と標準偏差で示した。

股関節角度について、モイ、ティッペルト、バブサーは、増大、減少、増大という変化が共通して見られた。3つの技は RA5° ~ RA75° 時点まで角度は増大した後、RA185° 時点まで減少した。さらにその後、3つの技は離手まで股関節角度は増大した。RA110° ~ RA130° 時点にかけてバブサーはモイよりも有意に大きな値であった ($p < 0.05$)。同時点のティッペルトには、モイとバブサーとの間に有意な差は見られなかった。

股関節角速度について、モイは RA5° ~ RA70° 時点まで、ティッペルトとバブサーは RA5° ~ RA75° 時点まで正の値を示した。その後、3つの技は、RA185° 時点まで負の値を示した。さらにその後、すべての技は RA190° ~ RA240° 時点まで正の値を示した。3つの技の離手時点では負の値が示された。屈曲角速度の最小値について、モイ (-7.48 ± 0.84 rad/s) は RA130° 時点、ティッペルト (-8.02 ± 1.08 rad/s) とバブサー (-9.06 ± 1.01 rad/s) は RA135° 時点で示された。RA135° ~ 155° 時点にかけてバブサーはモイよりも有意に小さな値を示した ($p < 0.05$)。

股関節トルクについて、モイは RA5° ~ 15° 時点まで、ティッペルトとバブサーは RA5° ~ 20° 時点まで伸展トルクが示された。その後、3つの技は RA65° 時点まで屈曲トルクが増大し、RA115° 時点で 0 に近づく。そして、再び RA160° 時点まで屈曲トルクは増大した。屈曲トルクは RA185° 時点まで示された。モイは RA190° ~ 230° 時点まで、ティッペルトは、RA195° ~ 235° 時点まで、バブサーは RA240° 時点まで伸展トルクが示された。その後、3つの技は離手時点まで屈曲トルクが示された。RA200° ~ 240° 時点では、バブサーがモイよりも有意に大きく、離手時点では、モイがバブサーよりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。また、RA200° ~ 235° 時点では、ティッペルトがモイよりも有意に大きく、離手時点ではモイがティッペルトよりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。

股関節パワーについて、RA5°～RA30°時点ではほぼ0であり、モイはRA70°時点まで、ティッペルトとバブサーはRA75°時点まで負のパワーが発揮されていた。RA115°時点までパワーの変化は小さかった。その後、モイはRA150°時点まで正のパワーが増大し、RA185°時点で一旦0に近づいて再び正のパワーが増大していた。モイはRA230°時点、ティッペルトはRA235°時点、バブサーは離手時点まで正のパワーが発揮されていた。モイはRA235°～240°時点、ティッペルトはRA240°時点で負のパワーが発揮された後、離手で正のパワーが発揮されていた。AR150°時点について、バブサー(10.09±3.03 W/kg)はモイ(7.02±1.50 W/kg)よりも有意に大きかった(p<0.05)。RA210°～離手までの各時点は、バブサーがモイよりも有意に大きかった(p<0.05)。RA215°～235°の各時点は、ティッペルトがモイよりも有意に大きかった(p<0.05)。

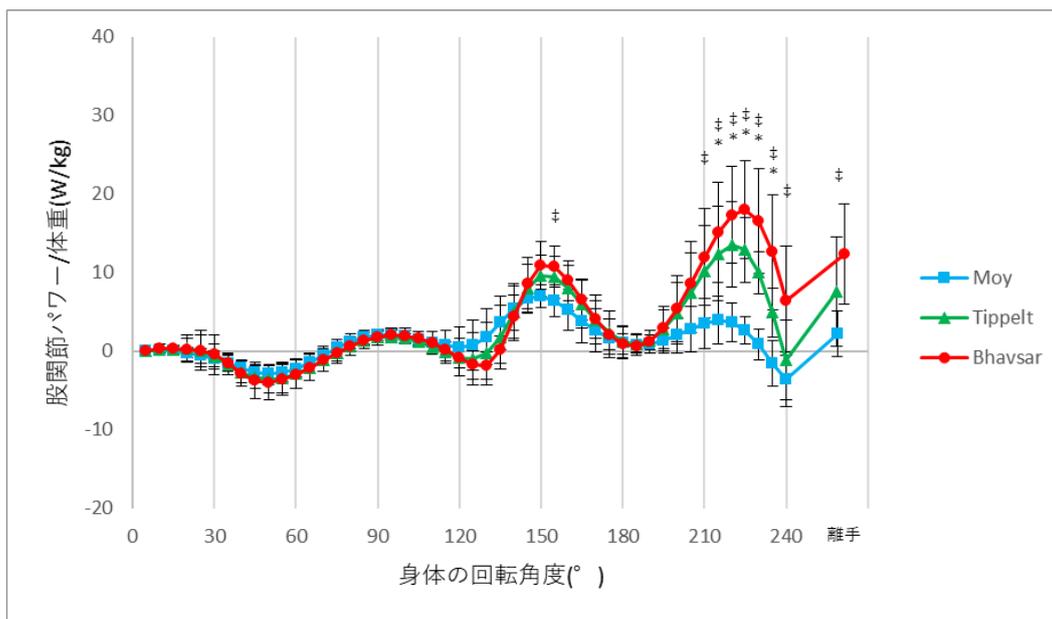
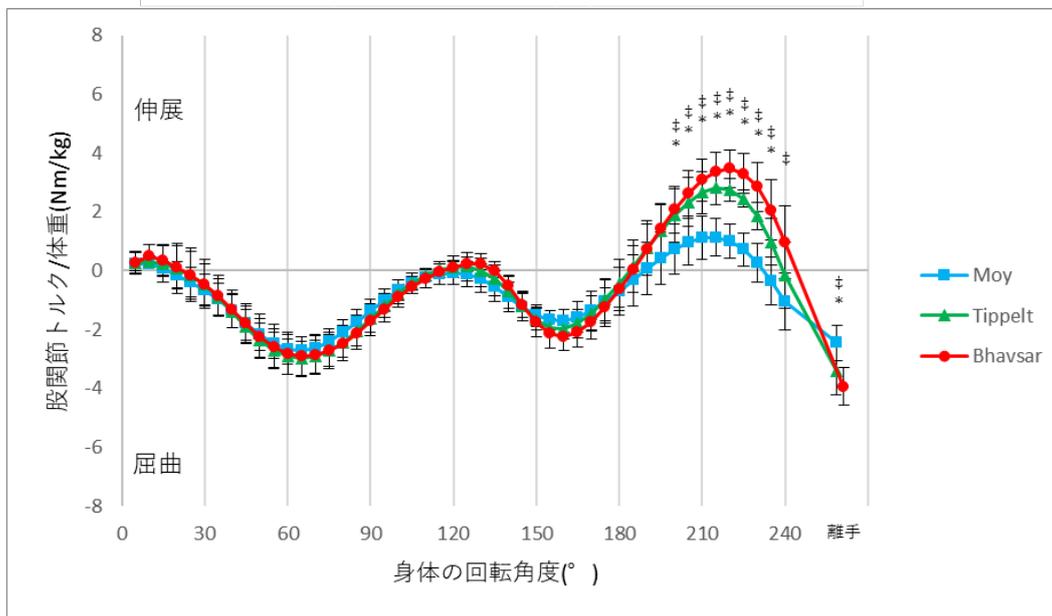


- * : モイとティップルトで有意差あり(p<0.05)
- † : ティップルトとバブサーで有意差あり(p<0.05)
- ‡ : モイとバブサーで有意差あり(p<0.05)

図 20.1 股関節の諸変数の変化

上 : 股関節角度の変化

下 : 股関節角速度の変化



- * : モイとティップルトで有意差あり ($p < 0.05$)
- † : ティップルトとバブサーで有意差あり ($p < 0.05$)
- ‡ : モイとバブサーで有意差あり ($p < 0.05$)

図 20.2 股関節の諸変数の変化

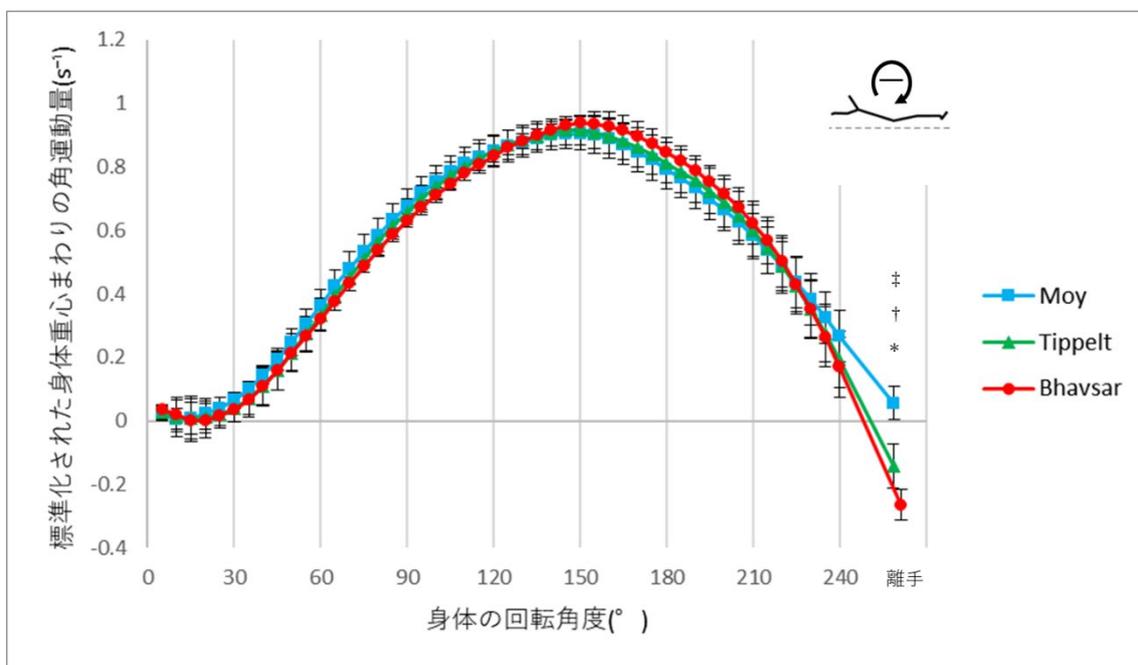
上 : 股関節トルクの変化

下 : 股関節パワーの変化

3.9 身体重心まわりの角運動量

図 21 に、倒立から離手までの身体重心まわりの角運動量の変化を示した。

身体重心まわりの角運動量について、モイ、ティップペルト、バブサーは RA5° ~20° 時点まで減少した後、RA150° 時点まで増大した。そして、3つの技は RA240° 時点まで減少していた。離手時の身体重心まわりの角運動量は、モイ ($0.057 \pm 0.051 \text{ s}^{-1}$) とティップペルト ($-0.142 \pm 0.069 \text{ s}^{-1}$) とバブサー ($-0.264 \pm 0.049 \text{ s}^{-1}$) には、すべての群間に有意な差が見られた ($p < 0.05$)。



- * : モイとティップペルトで有意差あり ($p < 0.05$)
- † : ティップペルトとバブサーで有意差あり ($p < 0.05$)
- ‡ : モイとバブサーで有意差あり ($p < 0.05$)

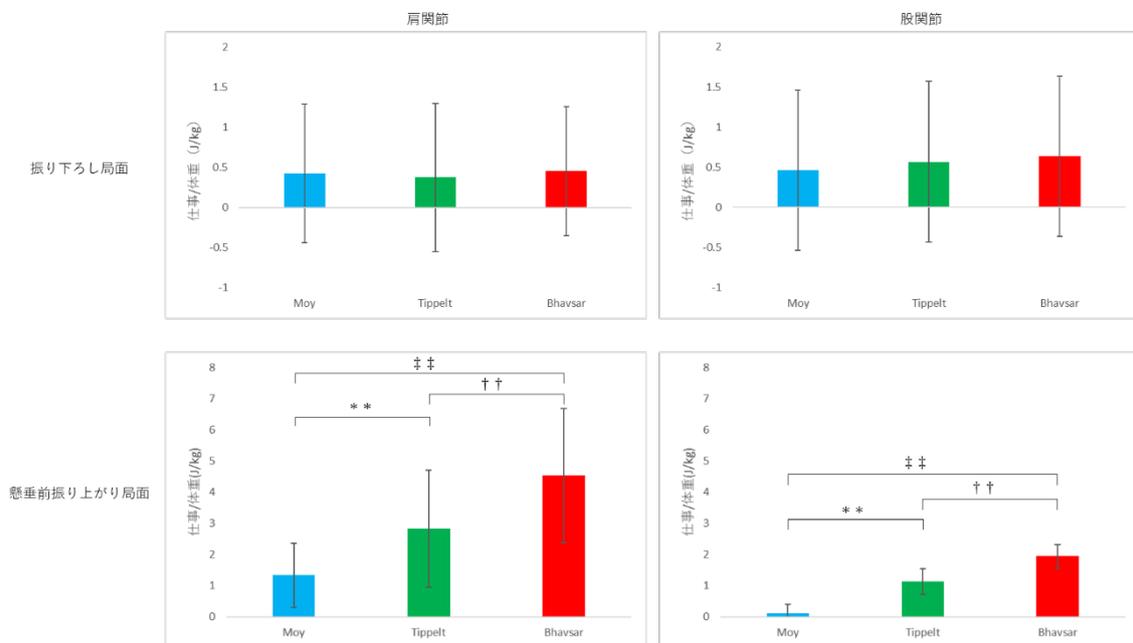
図 21 身体重心まわりの角運動量の変化

3.10 関節でなされた仕事

図 22 は、振り下ろし局面 (RA5° ~ RA180°) ならびに懸垂前振り上がり局面 (RA185° ~ RA240°) でなされた肩関節と股関節の仕事を技ごとに平均と標準偏差で示したグラフである。

肩関節でなされた仕事では、振り下ろし局面において、モイ (0.42 ± 0.86 J/kg) とティッペルト (0.38 ± 0.92 J/kg) とバブサー (0.46 ± 0.80 J/kg) に有意な差は見られなかった。懸垂前振り上がり局面において、モイ (1.34 ± 1.03 J/kg) とティッペルト (2.83 ± 1.87 J/kg) とバブサー (4.53 ± 2.15 J/kg) には、各技間に有意な差が見られた ($p < 0.01$)。

股関節でなされた仕事では、振り下ろし局面において、モイ (0.46 ± 0.54 J/kg) とティッペルト (0.57 ± 0.52 J/kg) とバブサー (0.64 ± 0.40 J/kg) に有意な差は見られなかった。懸垂前振り上がり局面において、モイ (0.12 ± 0.28 J/kg) とティッペルト (1.13 ± 0.41 J/kg) とバブサー (1.94 ± 0.38 J/kg) には、各技間に有意な差が見られた ($p < 0.01$)。



- ** : モイとティッペルトで有意差あり ($p < 0.01$)
- †† : ティッペルトとバブサーで有意差あり ($p < 0.01$)
- ‡‡ : モイとバブサーで有意差あり ($p < 0.01$)

図 22 関節でなされた力学的仕事

3.11 離手時の身体重心まわりの角運動量と関節トルクとの関係

図 22 に、離手時の身体重心まわりの角運動量と RA240° 時点の肩関節トルク、股関節トルクとの関係を示した。ティッペルトとバブサーは、離手時の身体重心まわりの角運動量と RA240° 時点の肩関節トルクに有意な相関関係が見られた ($p < 0.05$) が、モイには、有意な相関関係は見られなかった。各技の離手時の身体重心まわりの角運動量と RA240° 時点の股関節トルクには有意な相関関係は見られなかった。

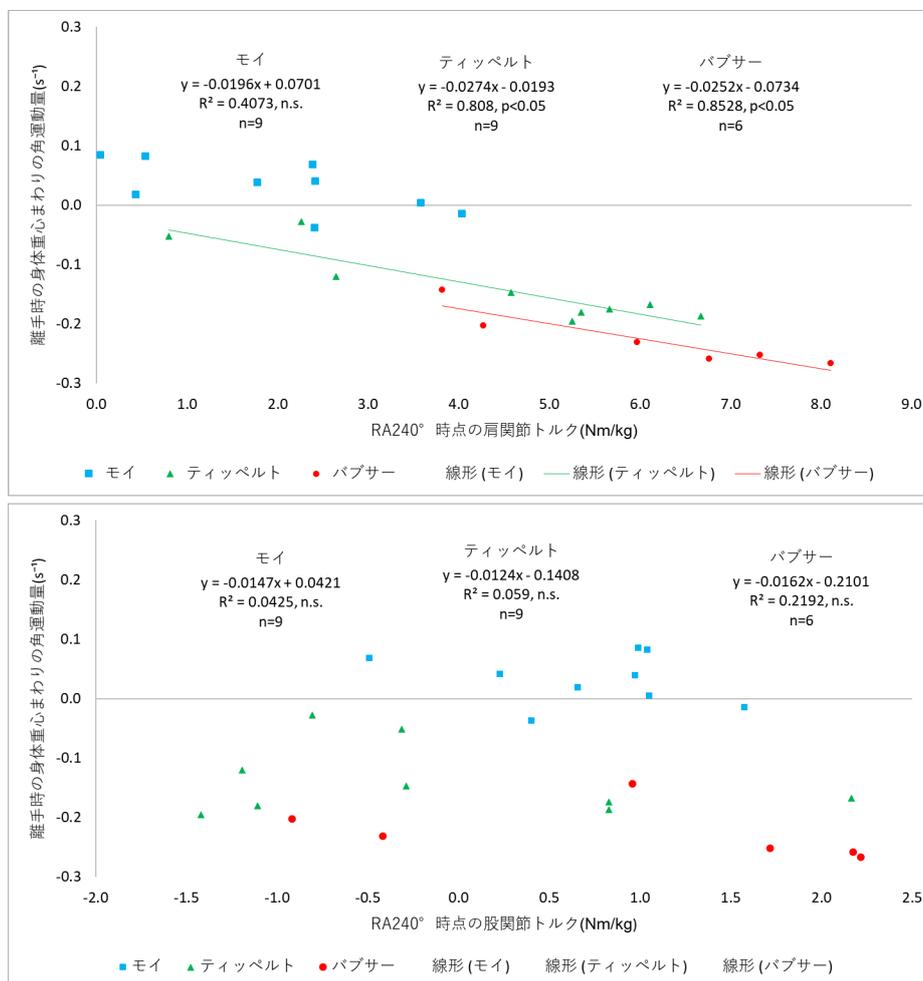


図 23 離手時の身体重心まわりの角運動量と関節トルクとの関係
上：肩関節
下：股関節

第4章 考察

4.1 異なる終末姿勢を決定づける要因

本研究の目的は、男子平行棒の技であるモイ、ティッペルト、バブサーの運動の差異をバイオメカニクスの的に明らかにすることであった。これら3つの技は、懸垂前振り上がりという共通の運動課題をもっている。しかしながら、懸垂前振り上がりをして、平行棒から手が離された後、それぞれの技は異なる運動を経過して、各技の終末姿勢を示す。空中では、身体に外力が加えられないものと仮定すると、空中で行われる運動は、離手時点の運動によって決まると考えられる。これら3つの技について、運動の差異を考えるにあたり、回転と高さに関わる要因を調査した。

表2では、3つの技は回転の勢いを表す角運動量の大きさに違いがあるということが明らかにされた。また、同じく表2の結果から、離手時の身体重心の鉛直位置、水平速度、鉛直速度には違いが見られなかった。このことから、3つの技の終末姿勢を決定づける要因は、離手時の身体重心まわりの角運動量の大きさの違い、すなわち回転の勢いの違いであるということが示された。3つの技の回転の勢いは、次のように解釈することができる。モイは後方回転、ティッペルトは前方回転、バブサーはティッペルトよりも勢いのある前方回転をしていた。

次に、離手時の回転の勢いを変化させる要因について、振り下ろし局面と懸垂前振り上がり局面に分けて考察する。

4.2 振り下ろし局面

加納ら(1991)は、振り下ろしの技術について「腰角度の増大」が雄大でスピードのある実施を可能にしていたことを報告している。本研究においても3つの技の振り下ろし局面では、 180° を超える腰角度の増大が見られた(図20.1)。振り下ろし局面における腰角度の増大は、技を雄

大に表現できるというだけでなく、足先の加速を助長させるはたらきがあったと考えられる。足先の加速は、筋の特性を利用して獲得される。筋は、「強くかつ速く伸張された筋肉がその弾性エネルギーと筋肉内の受容器である筋紡錘の伸張反射作用により、直後に強くかつ速く短縮される」作用があり、この作用は「ストレッチ・ショートニング・サイクル(以下 SSC)」と呼ばれている(土黒, 2014)。腰角度の増大は、筋を伸張状態にさせ、かつ肩関節の屈曲トルクが発揮されることで、より急激に身体前面の筋群が伸張され、肩関節伸展筋群および股関節屈曲筋群の伸張反射を利用した足先の前振りが可能になったと考えられる。腰角度の増大が懸垂屈身への移行を容易にした(加納ら, 1991)という内容はすなわち、振り下ろし局面の股関節角度の増大と肩関節屈曲トルクの発揮によって、直後の肩関節角度の減少と股関節角度の減少を助ける動作であったと考えられる。

足先の加速は平行棒のしなる特性を利用して、勢いのある実施を可能にすると考えられる。身体重心が RA180° 時点を通過するとき、身体の振り下ろされる勢いが大きいほど、平行棒のしなりは大きくなる。平行棒がしなることで平行棒には、弾性エネルギーが貯蔵される。そして、離手時には平行棒に貯蔵されたエネルギーが手部から身体へと移動することで、身体の上昇する勢い、回転する勢い、もしくはその両方を得ることができると考えられる。弾性エネルギーを増大させるにはより大きな力が必要である。力は質量と加速度の積であるから、平行棒により大きな力を加えるには、身体重心の加速度を増大させる必要があった。特にバブサーでは、足先を強くかつ速く振動させたことで、平行棒により大きな力を加えられたと考えられる。

4.3 懸垂前振り上がり局面

懸垂前振り上がり局面では、肩角度を増大させる力と腰角度を増大させる力が離手時の身体重心まわりの角運動量を変化させる要因であった

と考えられる。懸垂前振り上がり局面では、肩角度を増大させる力の発揮によって、手部は平行棒に下向きの力を加えることになる。手部が平行棒に加える力は、大きさが等しい反対向きの力すなわち平行棒が手部を上方に押す力を生じさせる。肩角度を増大させる力の発揮が大きくなることで、懸垂前振り上がり局面中の身体には、前方に回転させる力のはたらくと考えられる。技の違いは、発揮されたトルクの大きさにも見られた。肩関節の屈曲トルクの最大値は、バブサー、ティッペルト、モイの順に大きいことがわかる（図 19.2）。離手時点で身体が前方に回転する勢いが大きい技の順もまたバブサー、ティッペルト、モイであることから、懸垂前振り上がり局面で発揮される肩関節屈曲トルクが離手時の身体重心まわりの角運動量に関係があると考えられる。図 23 では、離手時の身体重心まわりの角運動量と RA240° 時点の肩関節トルクについて相関関係を調べた。その結果、バブサーとティッペルトでは、肩関節屈曲トルクと離手時の身体重心まわりの角運動量に相関関係があると分かった。このことから、平行棒から手が離される直前の肩関節屈曲トルクの増大が、離手時の身体重心まわりの角運動量を変える要因のひとつであったことが示唆された。

懸垂前振り上がり局面の股関節トルクには、足先を方向づけて空中の運動を調節する役割があったと考えられる。RA240° 時点の股関節トルクを技ごとに見ると、バブサーでは股関節で伸展トルクが発揮され、モイでは屈曲トルク、ティッペルトはほぼ 0 に近い値が示されていた（図 20.2）。バブサーを実施する場合、肩角度の増大を強く行うと同時に、腰角度を増大させることで、全身の回転を前方に転じさせていたと考えられる。モイを実施する場合、明確な終末姿勢を示すには、離手時の身体を後方に回転させる必要がある。肩角度を増大させる力の発揮は主に上半身を前方に回転させるはたらきがあると仮定すると、腰角度を減少させる力を発揮することで、身体が前方に回転する勢いを抑制していたのではないかと推察された。ティッペルトを実施する場合、肩角度を増大

させる力が発揮されたのに対し、バブサーほど前方の回転を必要とせず、モイのように回転を相殺させる必要がないため、股関節トルクはほとんど発揮されなかったと考えられる。懸垂前振り上がり局面において股関節を伸展させる動作は、肩関節屈曲トルクが発揮されるより前の時点から行われていた。肩関節屈曲トルクが発揮よりも前に足先を下方に位置づけることで、肩関節の力を発揮させやすい姿勢が作られ、足先を上方に位置付けることで前方の回転を抑制していたのではないかと考えられる。

RA240° 時点の 3 つの技について、関節トルク発揮によるパワーの変化について考察する。モイは RA240° 時点で、股関節の屈曲トルクが発揮され、それによるパワーは負の値であった。同じ時点の肩関節では屈曲トルクが発揮され、パワーは正の値であった(図 19.2, 図 20.2)。つまり、股関節では屈曲筋群によるエキセントリックな筋活動がなされ、肩関節では屈曲筋群のコンセントリックな筋活動がなされていたと考えられる。モイの終末姿勢を特徴づける背面支持の姿勢になるには、足部と上半身を平行棒よりも高い位置に上昇させる必要があり、足部は股関節の屈曲によって、上半身は肩関節の屈曲によって、足部と上半身の上昇が助けられていたと思われる。足部は、上半身よりも回転中心である手部から遠いため、回転が進むにつれて円を描く弧の長さすなわち上半身と足部の移動距離に違いが生じる。そのため、懸垂前振り上がり局面では股関節の屈曲トルクが発揮されているにも関わらず、足部よりも上半身が上昇する距離が短いので、股関節は伸展させられたと考えられる。

ティップペルトは RA240° 時点で、股関節トルクがほぼ 0 であった。同じとき、肩関節では、屈曲トルクが発揮されており、パワーは正の値を示したことから、肩関節の屈曲筋群のコンセントリックな筋活動がなされていたと考えられる(図 19.2, 図 20.2)。肩角度を増大させる動きは、上半身を前方に回転させるはたらきがあったと考えられる。

バブサーは RA240° 時点で、股関節の伸展トルクが発揮されており、

パワーは正の値を示したことから、股関節の伸展筋群によるコンセントリックな筋活動がなされていたと考えられる(図 19.2, 図 20.2)。また、同じときに肩関節では屈曲トルクが発揮されており、パワーは正の値を示したことから、肩関節の屈曲筋群によるコンセントリックな筋活動がなされていたと考えられる。RA240° 時点で、手部が身体に対して上方に位置する仰臥位の姿勢になっている。そのため、股関節を伸展させる動作は足部を下方へ振り下ろす動作である。また、肩関節角度の増大は手部で平行棒を鉛直下向きに押す動きであることから、下肢は下方へ、上半身は上方へ向かう運動が生じていたと考えられる。これは、身体重心を前方に回転させる勢いを生じさせる運動であり、とりわけバブサーの終末姿勢を特徴づける「開脚抜き伸身かつ水平位」に至るには、股関節と肩関節の協調運動によって身体を前方に回転させる必要があったと考えられる。

これらのことから、空中局面で前方の回転を必要とするティップペルトやバブサーの実施には、離手直前の肩関節屈曲トルクを大きくして、離手時の身体重心まわりの角運動量を得る必要があったと示唆された。さらに、肩関節屈曲トルクが発揮されるより前に、股関節の伸展トルクが発揮されることで、前方回転の勢いを助けることができると考えられる。以上を踏まえて、懸垂前振り上がり系の技群を段階的に指導する際には、肩関節屈曲筋群に焦点を当てたトレーニングを行い、肩関節の屈曲動作と股関節の伸展動作の運動を協調させるようなトレーニングを実施する必要があると示唆された。

4.4 空中の高さについて

空中局面の最高到達点には、技による違いが見られなかった(図 17)。しかし、体操競技では高さが不足した実施には減点がなされるため、空中局面の高さを得ることは課題のひとつであるといえる。モイ、ティップペルト、バブサーはそれぞれの終末姿勢を示すために、少なくとも平行

棒よりも高い位置まで身体を上昇させる必要がある。空中局面の高さは、離手時の身体重心位置の高さと身体重心の速度によって決まる。懸垂前振り上がりの運動は、手部を支点とした回転運動をしているため、身体重心の速度は、回転中心である手部から身体重心に向かう直線に対して垂直な向きになると考えられる。身体重心の速度変化を見ると、RA90°～RA105° 時点で水平速度がほぼ 0 となり、鉛直下向きの速度が最大を示している。また、RA165°～RA180° 時点で水平速度の最大を示し、かつ鉛直速度がほぼ 0 を示していた。そして、身体重心の上向きの鉛直速度が最大となるのは離手時であった。これは、3 つの技すべてに共通して見られた懸垂前振り上がりの特徴であった(図 18)。離手時の鉛直速度が大きいほど、空中局面の高さを得ることが出来る。しかし、身体が上昇していく懸垂前振り上がり局面では、重力の影響を受けるため、鉛直上向きの加速を得ることは容易ではない。懸垂前振り上がりでは、回転運動の特性を利用し、平行棒から手を離す時期を遅らせることで身体重心位置を高くする方法が高さのある実施に有効であったと考えられる。

4.5 モイ、ティッペルト、バブサーの類似点

モイ、ティッペルト、バブサーの身体重心の運動は、手部を中心とした円運動であった。肩関節角度についても増大、減少、増大という変化のパターンが共通して見られた。股関節角度は、増大、減少、増大という大まかな運動パターンが類似していた。これらの類似点が示された理由は、平行棒の高さが 1.8 m に規定されている影響が大きかったと考えられる。RA150°～RA180° 時点にかけて、足先の勢いを得るには肩関節角度および股関節角度を大きくし、身体前面筋群の伸張反射を利用して股関節の屈曲動作を行われていた。股関節の屈曲が遅れた場合には、足部がマットに衝突することになる。マットへの接触は美的・実施欠点に該当し、競技では減点されることになる。それだけでなく、マットへの衝突は回転運動を急停止させる。そのため、足先がマット付近を通過す

る局面では、股関節角度を $120^{\circ} \sim 130^{\circ}$ にした懸垂屈身の姿勢になる必要があった。以上の理由からモイ、ティッペルト、バブサーの懸垂前振り上がりは、見た目の大まかな運動のパターンが類似していたと考えられる。

4.6 バブサーの技術的ポイント

終末姿勢の異なる3つの懸垂前振り上がり系技を比較することで、離手時の運動の差異と懸垂局面中の運動の差異が明らかにされた。本研究では、モイ、ティッペルト、バブサーの運動の差異をもとに、バブサー実施のための技術的ポイントを以下の様に抽出した。

振り下ろし局面では、身体を大きく反り、肩関節屈曲トルクを発揮することで、肩関節前面の筋群が瞬間的に引き伸ばされて、次の瞬間の肩関節伸展が強く速く行われる。これは、肩関節より遠位にある股関節の屈曲角速度を増大させ、さらに遠位にある足先の加速を助長したと考えられる。これは、加納ら(1991)の「腰角度の増大」による振り下ろしの技術と同じ意味であるが、本研究では、懸垂前振り上がり系技群の内、難度の高い技ほど、股関節角度の増大が強調されることが示された。さらに、この時点では、股関節トルクの発揮よりも肩関節トルクを発揮させることによって股関節屈曲の角速度を増大させていたことが推察された。股関節角度の増大に加えて、肩角度を急激に減少させて行う足先の前振りがバブサー実施時の技術的なポイントであったと考えられる。

懸垂前振り上がり局面では、主に肩関節屈曲筋群のコンセントリックなパワー発揮によって前方回転の勢いを得ることが出来る。加えて、肩関節トルクが発揮されるより前に股関節伸展トルクを発揮させることで前方回転の勢いは強まる。このことから、肩関節と股関節の協調運動はバブサー実施時の技術的なポイントであったと考えられる。

第5章 結論

5.1 研究のまとめ

本研究では、終末姿勢の異なる3つの懸垂前振り上がり系技についてモイ、ティッペルト、バブサーの運動差異をバイオメカニクス的に明らかにした。さらに、バブサー実施時の技術的なポイントを抽出した。

その結果、以下のようなことが明らかとなった。

- 1) モイ、ティッペルト、バブサーの終末姿勢を特徴づけているのは離手時の身体重心まわりの角運動量の違いであった。空中局面において、モイは後方回転、ティッペルトは前方回転、バブサーはティッペルトよりも勢いのある前方回転をしていた。
- 2) 肩関節屈曲トルク、パワーの発揮は、身体重心の引き上げと身体を前方に回転させるはたらきがあった。肩関節屈曲トルクの最大値は、バブサーがティッペルトの約1.4倍、モイの約3.0倍であったことから、バブサー未習得者は、肩関節屈曲筋群に焦点を当てた体力トレーニングが必要であることが示唆された。加えて、肩関節屈曲トルクが発揮されるより前に股関節伸展トルクを発揮することは前方回転を助ける。
- 3) 空中局面における身体重心の高さは、モイ、ティッペルト、バブサーの技による違いは見られなかった。
- 4) 振り下ろし局面における股関節角度の増大時、肩関節屈曲トルクを発揮させることで、身体前面の筋群の伸張反射の作用を利用した勢いのある足先の前振りを可能にしていた。
- 5) バブサー実施時の技術的なポイントは、①振り下ろし局面の急激な肩角度減少、②足先を下方へ位置づけて肩角度を増大させる股関節増大から肩関節増大にかけての協調運動であった。

5.2 研究の限界と今後の展望

本研究ではモイ、ティッペルト、バブサーの運動の差異を明らかにすることができた。しかしながら、運動の差異が明らかにされたところで、即座に指導の現場に役立つということは考えづらい。本研究で明らかにされた運動の差異は、選手にとって何が課題となり、その課題をどのように克服すべきかといった解決策が必要となろう。具体的なトレーニングの方法や指導の方法を体系化するには選手の個別性を考慮した評価が必要であり、トレーニング効果や技術の有効性の検証は個々の事例を集積するような研究によってなされる必要がある。

文献

- [1] 阿江通良(1996). 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15(3), pp.155-162
- [2] Hay, J.G., et al.(1977). A computational technique to determine the angular momentum of a human body. *J.Biomechanics*, Vol.10, pp.269-277
- [3] 土黒秀則(2014). 『スピード系のトレーニング』, 特定非営利活動法人 NSCA ジャパン, ストレングス&コンディショニング I【理論編】 第 13 版, p.117, 大修館書店
- [4] Hinrichs, R.N. (1987). Upper extremity Function in running. II :Angular momentum considerations, *International Journal of Sport Biomechanics*, Vol.3, pp242-263
- [5] 金子明友(1985). 「体操競技のコーチング」 第 5 版, 大修館書店
- [6] 加納実, 伊藤政男, 湯浅和宗(1991). 平行棒における振り下ろして懸垂前振り技術に関する研究に関する考察, 日本体育学会大会号 第 42 回, p.661
- [7] 加納実(2015). 体操競技の戦術, 行本浩人, 「体操競技教本【2011年度改訂版】」, pp.21-32, 財団法人日本体操協会
- [8] 木下秀明(2015), 「体操の近代日本史」, 不昧堂出版
- [9] 公益財団法人日本体操協会(2017). 採点規則男子 2017 年版, 公益財団法人日本体操協会, 東京
- [10] 公益財団法人日本体操協会ほか(2018). 男子体操競技情報 26 号, 公益財団法人日本体操協会, <https://www.jpn-gym.or.jp/artistic/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/e2b6a9e1f83e5a932ade35f390585e8e.pdf>
- [11] マンフレート・グロッサー, アウグスト・ノイマイヤー(2007). 「選手とコーチのためのスポーツ技術のトレーニング」 第 5 刷

(朝岡正雄, 佐野淳, 渡辺良夫 訳), 大修館書店

- [12] 村田憲亮・平岡駿希・植村隆志・山下龍一郎(2015). 平行棒における「懸垂前振り開脚抜き、伸身かつ水平位で懸垂」に関する一考察—チツペルトとの比較を通して—, スポーツパフォーマンス研究, 7, pp.113-134
- [13] 土屋純・村田浩一郎(2005). 平行棒における「後方車輪から後方屈身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, pp.20-28
- [14] 土屋純(2007). 体操競技の技術トレーニングにおける運動分析の意義と方法, スポーツ科学研究, 4, pp.18-27
- [15] 吉田茂(1984). 「体操競技の科学」, 浅見俊雄・宮下充正・渡辺融編著, 『現代スポーツ大系—体操・ダンス—』第18巻, pp. 19-30, 講談社.
- [16] Winter, D. A. (2011). 『バイオメカニクス人体運動の力学と制御』第4版, (長野明紀・吉岡伸輔訳). 有限会社ラウンドフラット, 東京

謝辞

本研究は、指導教員である土屋純教授のご指導のもと行われました。土屋先生には研究のテーマ選びから、参考図書選び、算出した値の見直しの方法に至るまで細やかなご指導をいただきました。土屋先生は、早稲田大学体操部の部長でもあり、私にコーチとして活動する機会も与えてくださいました。重ねて御礼申し上げます。体操部では、試合の帯同コーチ、トレーニングメニューの作成、選手が行う技の補助など様々なことに挑戦させていただきました。多方面で不器用な私をいつも温かく見守ってください、ありがとうございました。体操部の部員の皆様には、本研究の実験にも協力していただき、ありがとうございました。

本研究の副査である磯繁雄教授、岡田純一教授には、論文の内容に関する建設的なご意見をいただき、ありがとうございました。また、土屋研究室のミーティングでは、藤田善也先生や研究室の皆様からのご指摘、ご意見を頂きました。体操競技の専門でない先生方、コーチ方からの貴重なご意見をいただけたことで、様々な視点から本研究を考察することができました。岡部文武さんには、プログラムの書き方、論文の添削などを指導していただきました。朝早くから夜遅くまでどんなタイミングでも相談に乗ってください、ありがとうございました。学部のゼミからお世話になっている矢内利政教授には、バイオメカニクスの基礎からスポーツ現場でどのように活用できるかという応用まで教えていただき、ありがとうございました。

最後になりましたが、生真面目過ぎる私を大切に育ててくれた家族に感謝を申し上げます。

2018年2月15日

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

コーチング科学研究領域

土屋研究室 浅野佑樹