

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：33908

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500613

研究課題名（和文） 器械体操運動における肩複合体の 3 次元運動解析

研究課題名（英文） Three-dimensional motion analysis of shoulder in gymnastics.

研究代表者

桜井 伸二（SAKURAI SHINJI）

中京大学・スポーツ科学部・教授

研究者番号：20144173

研究成果の概要（和文）：

器械体操運動においては、全体重を腕で支える局面が多いことから腕や肩の大きな力の発揮が必要とされる。それと同時に、より美しく雄大に見える動きも必要とされる。すなわち器械体操運動において肩関節は強靭さと柔軟性というある意味で相反する特性を併せ持たなければならない。器械体操運動における肩の役割を明らかにし、また「肩関節複合体」の運動を詳細に分析することを目的に研究を行なった。鉄棒の下り技ではリリース時に身体重心まわりの角運動量を大きくする必要があり、そのためには車輪の最後の局面で肩関節を急速に伸展させる必要があることが明らかになった。さらに平行棒のスイング動作における肩甲骨の前傾角と肩関節伸展角の間には密接な関係があり、しかも競技レベルの高い者ほど肩の可動範囲が大きい傾向が認められた。

研究成果の概要（英文）：

In gymnastic motion, shoulders should play important roles including with both strength and flexibility. The purpose of this study was to investigate the better motion of shoulder joints in giant swing before the dismount from a horizontal bar and swing motions on parallel bars. At the release instant of the dismount from a horizontal bar, the greater angular momentum was observed for the higher level gymnasts. Gymnasts have to extend shoulder joint more quickly and vigorously so as to get the greater angular momentum at the release instant. As for swing movements on parallel bars there was a strong correlation between inclination angle of the scapular and extension angle of the shoulder joint. There was a tendency of the wider range of motion of shoulder joint for the higher athlete level.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 スポーツ科学

キーワード：スポーツバイオメカニクス、平行棒、鉄棒、倒立

1. 研究開始当初の背景

倒立をはじめとした器械体操運動においては全体重を腕で支える局面が多いことから、腕や肩の大きな力の発揮が必要とされる。一方、採点競技である器械体操運動においてはより雄大に見える動きが重要であり、肩などの柔軟性も必要とされる。すなわち器械体操運動において肩関節は強靭さと柔軟性というある意味で相反する特性を併せ持たなければならない。鉄棒、平行棒、吊り輪、あん馬などの器械体操に見られるスイング動作や車輪において、肩関節は非常に重要な役割を果たしている。

一方、スポーツバイオメカニクスの分野におけるこれまでの多くの研究で用いられてきた身体モデル（剛体リンクモデル）においては、各体節（セグメント）は形の変わらない棒のような物体、また関節は両物体を1点で連結するちょうつがいのようなものと仮定されてきた。この場合には関節角度は隣接する体節の間の角度と定義される。例えば肩関節角度は上腕部と体幹部との間の角度として求められる。ところが上腕を身体の側方に挙上（外転）した場合、実際にはその外転角度のほぼ3分の2が狭義の肩関節（肩甲骨と上腕骨の間の関節）の運動に由来するもので、残りの3分の1は上肢帯（肩甲骨、胸骨、鎖骨）自体の移動や回転によるとされている。つまりこれまで剛体リンクモデルで求められてきた「関節角度」は、隣接する骨と骨との間の角度を必ずしも正確には反映していない。

整形外科や解剖学の分野におけるこのような教科書的な知識は、全て非常に単純化されしかも静的な状態で得られたものであった。そして、運動に起因する関節の障害の多くは、体節間の角度よりも、骨と骨との間の角度により深く関係していることは明らかである。これまで、スポーツ・パフォーマンスの分析では「肩関節」の3次元運動解析は頻繁に行われてきたが、肩甲骨（上肢帯）を含めた「肩複合体」としての機能は明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は平行棒や吊り輪などの器械体操運動における「肩複合体」の運動を詳細に分析することである。

3. 研究の方法

まず、鉄棒の終末技（下り技）における肩

関節の役割を知るため、バーリリース時の角運動量と車輪運動中の選手の身体の力学的エネルギー変化に注目した。52名の器械体操選手による鉄棒の「伸身2回宙返り2回ひねり下り」を、シャッターが同期された2台のビデオカメラを用いて60fpsで撮影し、DLT法を用いて動作分析した。機械的エネルギー、運動量、角運動量などの力学的変量の変化を求めるため、頭部・体幹・上腕・前腕・手・大腿・下腿・足からなる8セグメントモデルを図1のように定義した。身体重心位置と鉄棒との位置関係によって、分析のため下り技の直前の後方車輪の運動は図2のように6つの局面に分けられた。公式審判員の下り技に対する評価と力学的変量の関係を求め、特に肩関節角度および股関節角度の変化に注目して、審判員の評価に影響を与える技術に関して考察した。

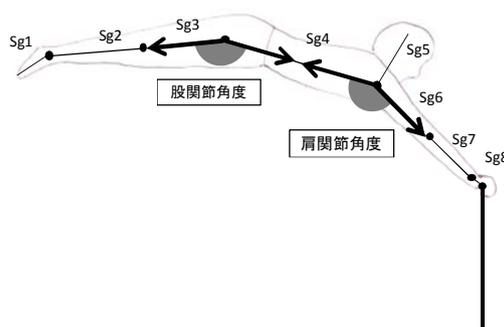


図1：剛体リンクモデルと関節角度の定義

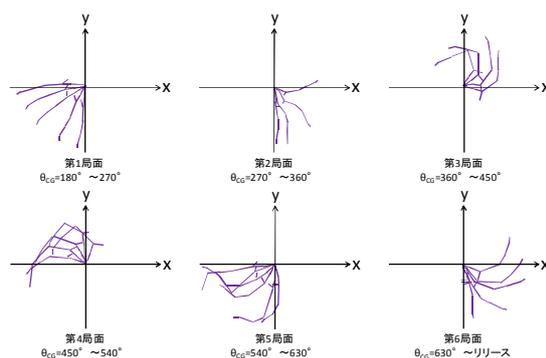


図2：身体重心位置による6つの局面分け

次に平行棒におけるスイング動作中の、いわゆる肩関節角度（上腕部と体幹部との間の角度）と肩甲骨の傾き角の間の関係を調べた。図3のように電磁ゴニオメータの3つのセンサを胸郭（胸骨上部）、肩甲骨（肩峰平坦

部)、上腕部の皮膚上にテープで貼り付け、正面支持期—垂直支持期—背面支持期（図4-1～図4-3）という一連のスイング動作中の各センサ間の角度変化を求めた。熟練度の異なる選手間で比較検討した。



図3：センサの貼り付け位置



図4-1：正面支持期



図4-2：垂直支持期



図4-3：背面支持期

4. 研究成果

鉄棒の「伸身2回宙返り2回ひねり下り」における審判員の評価と各力学的変量の関係について表1に示した。評価の高いグループ（A）はリリース時に大きな角運動量値をもっていた。またリリース時に大きな角運動量を持つ群（HG）は、リリース時の肩関節角

度が小さく、リリース前の車輪運動において、身体運動の上昇時に急激な肩関節の伸展運動を行っていることが明らかになった。

表1. 審判員評価により分けられた3群間における力学的変量の比較

	A	B	C	
リリース時の身体重心角度 (deg)	716.8±3.9	713.6±2.3	710.5±7.5	(n.s.)
リリース時の剛体モデルのもつエネルギー(J/kg)	20.3±3.3	18.3±1.4	17.4±1.5	(n.s.)
リリース時の身体重心まわりの角運動量(1/s)	0.431±0.032	0.390±0.015	0.371±0.021	A>B* A>C**
リリース時の身体重心速度 (m/s)	5.7±0.5	5.3±0.3	5.4±0.4	(n.s.)
リリース時の肩関節角度 (deg)	116.4±5.9	127.2±7.6	132.8±8.7	A>C*
リリース時の股関節角度 (deg)	149.9±10.5	135.3±7.5	133.4±10.0	A>C*
リリース後の最大身体重心高(m)	3.71±0.09	3.63±0.09	3.67±0.11	(n.s.)

表2. 肩関節角度の変化

	HG	MG	LG	
$\theta_{CG}=180^\circ$	172.0±4.4 (deg)	173.3±1.9 (deg)	176.7±2.7 (deg)	(n.s.)
$\theta_{CG}=270^\circ$	172.2±7.5	179.3±2.6	178.2±1.4	(n.s.)
$\theta_{CG}=360^\circ$	144.2±3.4	144.6±11.8	148.1±11.5	(n.s.)
$\theta_{CG}=450^\circ$	121.5±12.7	120.2±11.6	119.7±9.3	(n.s.)
$\theta_{CG}=540^\circ$	175.0±2.9	173.8±7.5	180.1±5.8	(n.s.)
$\theta_{CG}=630^\circ$	189.5±4.0	185.1±2.7	187.0±4.6	(n.s.)
リリース	116.3±5.3	130.4±7.7	133.5±7.5	HG<MG** HG<LG**

一般に鉄棒の下り技の直前の車輪において、第4局面から第5局面にかけて肩関節は屈曲し、股関節は伸展する。このような動作を体操競技では「ぬき」と呼ぶ。また第5局面から第6局面にかけて肩関節は伸展し、股関節は屈曲する。このような動作を「あふり」と呼ぶ。

リリース時の身体重心まわりの角運動量が大きい選手は「あふり」動作が行われる第6局面とリリース時の力学的エネルギーおよびパワーが大きかった。リリース時における力学的エネルギーおよび身体重心まわりの角運動量を大きくするためには、“剛体リンクモデル+鉄棒のバー”系全体のエネルギーを増大させることが重要である。そのためには終末技の直前の「あふり」動作において肩関節を短時間で急激に伸展させることが重要であると示唆された。

次に平行棒におけるスイング動作中の肩甲骨の前後傾角度と肩関節挙上角の変化を図5に示した。背面支持期に肩甲骨の前傾角度が大きくなるという傾向が全ての被験者に共通してみられた。スイング動作中、背面支持期における肩関節の伸展角度に被験者間で差がみられた。また背面支持期における肩甲骨の前傾角度にも被験者間で差がみられた。スイング動作の背面支持期において

肩甲骨の前傾角度が小さい被験者ほど肩関節の伸展角度も小さくなる傾向が認められた。正面支持期における肩関節の屈曲角度に被験者間で差がみられた。また正面支持期における肩甲骨の前傾角度は、背面支持期ほど被験者間に大きな差はみられなかった。

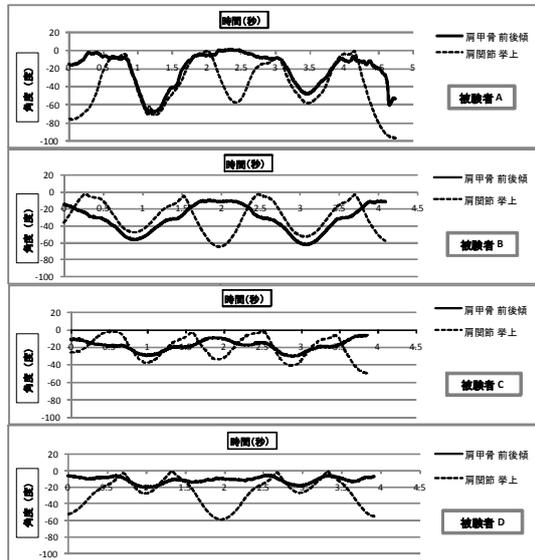


図 5：スイング動作中の肩甲骨の前後傾角度と肩関節挙上角の変化

背面支持期での肩関節の伸展角度が小さいということは、スイング動作を矢状面で見るときに背面支持期においての体幹と上腕のなす角度が小さいということを意味する。体操競技の指導場面ではこのことを「脇が開いていない」という言い方をすることがある。平行棒において宙返りなどの技を行う場合は、高さや回転力を得るためスイングで前に振り出すときにしっかり脇を開けて足先や膝を上方に振り上げる必要がある。ジュニア期のスイングの指導においても、指導者によって脇を開くように補助をされることが多い。しかし肩関節の伸展角度が小さいまま足を振り上げようとしたり、無理に脇を開けようとしたりすると、シーソーのように肩を後ろに倒すことで足を上げようとしてしまい、バランスを崩してしまう。

平行棒での後方宙返り系の終末技で平行棒の両バーから離手するとき、自分の体を高く持ち上げるために手に体重をのせてしっかりとバーを突き放さなければならない。そのためにはスイングから背面支持を経過しバーから手を離す直前まで振り子のように肩を支点として、できるだけ肩と手を結ぶ直線がバーに対して垂直に近いことが望まし

い。上腕部が後ろに倒れるほどバーを突き放す力を加えにくくなってしまう。

また脇を開けない状態で、しかも肩を後ろに倒さず無理に足を振り上げようとする、腰だけが屈曲し肩関節の伸展角度が小さい状態から回転し始めなければならなくなる。このようにスイング動作の背面支持期において”脇が開いていない”、つまり肩関節の伸展が十分でないということは、平行棒の2本のバーでのスイングを伴う支持回転系の技を行う際には好ましくないことだといえる。スイングの背面支持期において肩関節を十分に伸展させるためには、肩甲骨の前傾の可動域を広げる必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

①熊谷慎太郎、桜井伸二、『鉄棒における「後方伸身2回宙返り2回ひねり下り」のバイオメカニクスの分析』、中京大学体育学論叢、査読無し、vol 51、2010、pp.75 - 87

②熊谷慎太郎、桜井伸二、近田彰治、『平行棒のスイング動作における肩甲骨の動き、一競技レベルが異なる被験者間の比較』、中京大学体育研究所紀要、査読無し、vol 23、2009、pp.43 - 48

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桜井 伸二 (SAKURAI SHINJI)
中京大学・スポーツ科学部・教授
研究者番号：20144173

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：