

水中における推進技術のスキルと筋力の関係 —エッグビーターキックおよびサポートスカルのスキルと筋力との関係—

本間三和子

Relation between eggbeater kick and support scull skills and isokinetic peak torque

HONMA Miwako

I 目的

エッグビーターキックは股関節屈曲位で脚を左右に開き、膝を支点にした下腿の回転運動である。エッグビーターキック時 (Figure 1) に両腕を挙上すると 13 kg 以上の水上荷重負荷がかかるといわれており (本間, 2000)¹⁾、シンクロナイズドスイミングの演技時には姿勢を制御する力と上方への浮上力を発揮する股関節周辺と脚の筋力が必要と考えられる。他方、サポートスカル動作は肘を支点とした前腕の回転動作であり、肩の外旋・内旋運動によって前腕で水をスカルする技術である (本間, 2006)²⁾。シンクロナイズドスイミングの基本姿勢である垂直姿勢 (Figure 2) を最高位で保持する際にはおおよそ 14-15 kg の水上荷重負荷がかかるともいわれており (本間, 2000)¹⁾、サポートスカルによって上方への浮上力を得なければならない。サポートスカルは前腕の回外を伴いながら肩を外旋する非日常的な動作であり、過去にはスカーリングが主原因と考えられるシンクロナイズドスイミングジュニア選手の尺骨疲労骨折症例が報告されており (長野と大畠, 1982)³⁾、肩の外旋・内旋筋力が必要と考えられる。

本研究は、一流シンクロナイズドスイミング選手の脚および体幹の筋力とエッグビーターキックスキルとの関係、および垂直姿勢保持能力と肩関節外旋・内旋筋力との関係を検討することとした。



Figure 1 Arms out of the water using eggbeater kick



Figure 2 Vertical position using support scull

II 方法

(1) 被験者

被験者は、2007年世界選手権銀メダリストの女子シンクロナイズドスイミング選手10名で、全員が2008年北京オリンピック日本代表候補選手であった。被験者10名の平均身長は 1.64 ± 0.04 m、平均体重は 54.5 ± 2.8 kgであった。

(2) エッグビーターキックスキルと垂直姿勢保持能力の評価

エッグビーターキックスキルおよび垂直姿勢保持能力の評価は、北京オリンピック代表選手第一次選考会および北京オリンピック候補選手対象スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストと垂直姿勢保持テストの得点を用いた。

①エッグビーターキックスキル

ひとつは、北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたルーティンセットの課題要素のひとつであるエッグビーターキックテストの得点(①EB得点)、他は、北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストの高さの得点(②高さ得点)とした。

北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたルーティンセットは、ルーティン演技遂行に必要な推進技術やフィギュアを含む5課題から構成され、国際審判員6名によって5点満点1/2点併用で採点された。課題のうちの1つはエッグビーターキックスキルを評価するテストで、これは両腕を挙上し腕の動作をしながら12カウント前進するという課題であった。評価観点は高さ、存在感、安定性であった。この課題の得点をEB得点と呼ぶ。

北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会でのエッグビーターキックテストの課題内容は、両腕を挙上せず腕を水中に入れスカーリングを用いないで行うエッグビーターキック前進5mであった。ナショナルコーチと国際審判員7名が5点満点1/2点併用で採点し、評価観点は高さであった。この課題の得点を高さ得点と呼ぶ。

②垂直姿勢保持能力

ひとつは、北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたルーティンセットの課題要

素のひとつである垂直姿勢保持テストの得点(①垂直姿勢得点)、他は、北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施された垂直姿勢保持テストの得点(②デザイン得点)とした。

北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたルーティンセットの課題の1つは垂直姿勢をできるだけ高い位置で15秒間保持し、垂直姿勢のまま水中に沈み込む垂直姿勢保持テストで、サポートスキルがもっとも反映されるテストである。評価観点は高さ、存在感、安定性、正しい姿勢(デザイン)である。この課題での得点を垂直姿勢得点と呼ぶ。

北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会での垂直姿勢保持テストの課題内容は、垂直姿勢を15秒間できるだけ高い位置で保持する課題で、デザイン(垂直姿勢の正しさと伸びやかさ)の観点で採点された。ナショナルコーチと国際審判員7名が5点満点1/2点併用で採点した。この課題の得点をデザイン得点と呼ぶ。

(3) 筋力の測定

BIODEX System3 (Biodex Medical Systems, Inc)を用いて等速性の膝関節伸展屈曲筋力(角速度 $60^\circ/s$ 、 $180^\circ/s$)、体幹部伸展屈曲筋力(角速度 $60^\circ/s$ 、 $120^\circ/s$)、肩関節外旋・内旋筋力(角速度 $60^\circ/s$ 、 $120^\circ/s$)を測定した。なお、各測定値には体重あたりに換算した値を用いた。

(4) 統計処理

エッグビーターキックスキルのEB得点および高さ得点と、膝関節伸展・屈曲筋力および体幹部伸展・屈曲筋力との関係、ならびに垂直姿勢保持能力の垂直姿勢得点およびデザイン得点と、肩関節外旋・内旋筋力との関係をみるために、スピアマンの順位相関係数を求めた。5%危険率を有意水準とした。

III 結果

エッグビーターキックスキルのEB得点と高さ得点との間に有意な相関関係が認められた($r = 0.814, p < 0.01$)。

エッグビーターキックスキル得点(EB得点と高さ得点)および膝関節伸展・屈曲、体幹伸展・屈曲の等速性最大筋力の測定結果をTable 1に示した。エッグビーターキックスキルの得点と筋力

Table 1 Eggbeater kick skill scores and isokinetic peak torque of knee and trunk by using Biodex System 3 for Japanese elite synchronized swimmers

Swimmers	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	mean	SD
体重 (kg)	58.7	50.9	56.3	53.3	55.4	50.9	51.3	56.0	58.2	53.5	54.5	2.8
身長 (m)	1.72	1.60	1.66	1.61	1.63	1.60	1.59	1.65	1.68	1.63	1.64	0.04
エッグビーターキックスキル												
EB得点	4.000	3.750	3.500	3.500	3.250	3.000	3.000	3.000	2.875	2.875	3.275	0.374
高さ得点	3.43	3.50	3.86	3.43	3.14	3.00	2.86	2.93	3.07	2.14	3.14	0.44
膝関節 (Nm)												
伸展右 60°/s	141	115	122	127	147	103	-	95	131	107	120.9	16.5
伸展左 60°/s	134	113	114	148	150	99	90	110	119	119	119.6	18.5
屈曲右 60°/s	80	75	79	67	81	47	-	70	92	59	72.2	12.6
屈曲左 60°/s	78	67	73	68	71	52	51	60	58	65	64.3	8.5
伸展右 180°/s	96	96	82	89	109	72	-	67	90	75	86.2	12.7
伸展左 180°/s	95	94	80	101	107	70	66	71	91	84	85.9	13.3
屈曲右 180°/s	63	57	65	55	61	41	-	51	66	54	57.0	7.5
屈曲左 180°/s	60	58	60	55	59	42	45	45	46	53	52.3	6.8
体幹部 (Nm)												
伸展 60°/s	203	201	276	285	289	152	194	177	307	163	224.7	55.2
屈曲 60°/s	123	190	197	153	153	105	131	118	153	86	140.9	33.5
伸展 120°/s	186	238	245	222	260	154	183	164	250	180	208.2	37.0
屈曲 120°/s	106	121	163	114	128	103	100	119	100	106	116.0	18.1

SD: standard deviations.

EB得点: 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたエッグビーターキックテストの得点。評価観点は高さ、存在感、安定性。

高さ得点: 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストの高さの得点

との相関係数を Table 2 に示した。

EB 得点と高さ得点はいずれも、膝関節屈曲 (左) 60°/s および膝関節屈曲 (左) 180°/s との間に有意な相関関係が認められた。高さ得点は、体幹屈曲 60°/s との間に有意な相関関係が認められた。体重あたりの筋力においては、EB 得点は、体重あたり膝関節屈曲 (左) 60°/s、体重あたり膝関節屈曲 (左) 180°/s との間に、高さ得点は、体重あたり体幹屈曲 60°/s との間に有意な相関関係が認められた。

垂直姿勢保持能力の垂直姿勢得点とデザイン得点との間に、有意な相関関係が認められた ($r = 0.773, p < 0.01$)。

垂直姿勢保持能力 (垂直姿勢得点、デザイン得点)、肩関節外旋・内旋の等速性最大筋力の測定結果を Table 3 に示した。肩関節外旋・内旋筋力の測定値と、垂直姿勢得点およびデザイン得点と

の間に有意な相関関係は認められなかったが、体重あたりの 60°/s および 120°/s での肩関節外旋筋力と、垂直姿勢得点およびデザイン得点との間に有意な相関関係が認められた (Table 4)。

IV 考察

本研究の結果、エッグビーターキックスキルと膝関節屈曲 (左) 60°/s・180°/s および体幹屈曲 60°/s の筋力と関係が認められた。本間 (2005)²⁾ は、エッグビーターキックの指導時には膝が大転子より上まで引き上げられること、および踵を十分に臀部の近くまで引き上げることに留意することが重要であると示唆している。この動きの遂行のために低速域・中速域での股関節屈曲力と低速域での膝関節屈曲力が関連していると考えられる。ハムストリングスおよび腹直筋・大腰筋などの股関節屈曲に関わる筋群の強化が重要と示唆された。

Table 2 Correlations(γ) between eggbeater kick skill scores and isokinetic peak torque of knee and trunk for Japanese elite synchronized swimmers

	EB得点	高さ得点
膝関節伸屈力 (Nm)	r	r
伸屈右 60°/s	0.354	0.452
伸屈左 60°/s	0.272	0.354
屈曲右 60°/s	0.177	0.385
屈曲左 60°/s	0.735 *	0.717 *
伸屈右 180°/s	0.508	0.542
伸屈左 180°/s	0.475	0.511
屈曲右 180°/s	0.245	0.577
屈曲左 180°/s	0.711 *	0.749 *
体重あたり膝関節伸屈筋力 (Nm/BW)		
伸屈右 60°/s	0.473	0.527
伸屈左 60°/s	0.290	0.347
屈曲右 60°/s	0.186	0.502
屈曲左 60°/s	0.673 *	0.608
伸屈右 180°/s	0.574	0.628
伸屈左 180°/s	0.463	0.529
屈曲右 180°/s	0.186	0.502
屈曲左 180°/s	0.673 *	0.608
体幹部伸屈力 (Nm)		
伸屈 60°/s	0.235	0.541
屈曲 60°/s	0.500	0.812 **
伸屈 120°/s	0.265	0.596
屈曲 120°/s	0.540	0.615
体重あたり体幹部伸屈筋力 (Nm/BW)		
伸屈 60°/s	0.179	0.456
屈曲 60°/s	0.494	0.778 **
伸屈 120°/s	0.161	0.523
屈曲 120°/s	0.426	0.535

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

EB得点: 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施されたエッグビーターキックテストの得点。評価観点は高さ、存在感、安定性。

高さ得点: 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施されたエッグビーターキックテストの高さの得点

先行研究において、エッグビーターキックスキルが脚の筋力および大腿部と腹部の筋横断面積とどのような関連があるかをみた結果、下肢の筋横断面積とは関連がみられなかったが、下肢の等速性筋力との間には相関関係が認められたことが報告されている(本間と久野, 2001) ⁴⁾。この研究では、膝関節屈曲・伸屈、股関節外旋・内旋、股関節外転・内転の等速性最大筋力を測定し、そのうち有意な相関を示したのは中速域での股関節外転筋力と膝関節屈曲筋力であったことから、エッグビーターキックの強化には、中速域でのハムストリングス、縫工筋、中殿筋、小殿筋強化を重点的にトレーニングすることが有効であると示唆し

ている。

本研究では測定装置のアタッチメントの関係上、股関節外転筋力を測定しなかった。そのため股関節外転筋力について先行研究結果との比較はできないが、膝関節屈曲筋力については同様の結果が得られたため、エッグビーターキックスキルと膝関節屈曲筋力には深い関連があると考えられる。さらに本研究では低速域での体幹屈曲筋力にも関係が認められたことから、体幹を屈曲させる筋群、すなわち腹直筋、腹斜筋、大腰筋、大腿直筋等の低速域でのトレーニングも重要であると考えられる。

肩外旋筋力が垂直姿勢保持能力と有意な関係が

Table 3 Scores of supporting the Vertical Position and isokinetic peak torque of shoulder internal and external rotations by using Biodex System 3 for Japanese elite synchronized swimmers

Swimmers		C	I	B	E	J	G	H	F	A	H	mean	SD
垂直姿勢保持能力													
垂直姿勢得点		16.65	16.25	16.35	15.85	16.15	15.85	16.65	16.60	15.00	15.35	16.07	0.53
デザイン得点		3.43	3.50	3.43	3.07	3.14	3.07	3.14	3.14	2.43	2.50	3.1	0.3
体組成・形態													
身長	m	1.67	1.68	1.64	1.64	1.63	1.59	1.61	1.61	1.74	1.66	1.65	0.04
体重	kg	57	58	56	54	53	51	54	51	60	57	55.1	2.8
体脂肪率	%	18.5	23.6	20.8	22.3	23.3	21.5	15.1	23.3	16.1	19.9	20.4	2.9
除脂肪体重	kg	46.3	44.4	44.5	42.1	41	40.1	45.7	39.2	50.4	45.3	43.9	3.2
肩外旋内旋筋力													
内旋右 60°/s	Nm	31	26	30	21	24	19	26	22	29	25	25.3	3.7
内旋左 60°/s	Nm	28	27	32	19	24	23	25	21	31	26	25.6	3.9
外旋右 60°/s	Nm	21	20	22	15	16	13	18	19	20	17	18.1	2.7
外旋左 60°/s	Nm	19	19	21	16	14	14	18	17	20	17	17.5	2.2
内旋右 120°/s	Nm	28	23	29	17	22	19	21	21	27	20	22.7	3.8
内旋左 120°/s	Nm	27	28	26	18	22	21	24	18	28	22	23.4	3.6
外旋右 120°/s	Nm	18	18	20	13	13	11	16	18	17	14	15.8	2.7
外旋左 120°/s	Nm	17	18	17	14	12	11	16	13	16	14	14.8	2.2

SD: standard deviations.

垂直姿勢得点: 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施された垂直姿勢保持テストの得点。評価観点は高さ、安定性、正しい姿勢(デザイン)。
 デザイン得点: 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施された垂直姿勢保持テストの得点。評価観点はデザイン(垂直姿勢の正しさと伸びやかさ)。

Table 4 Correlations (γ) between scores of supporting Vertical Position and isokinetic peak torque (Nm/BW) of shoulder internal and external rotations, for Japanese elite synchronized swimmers

	垂直姿勢得点	デザイン得点
体重あたり肩関節外旋内旋筋力(Nm/BW)	<i>r</i>	<i>r</i>
内旋右 60°/s	0.396	0.389
内旋左 60°/s	0.140	0.315
外旋右 60°/s	0.633 *	0.663 *
外旋左 60°/s	0.478	0.322
内旋右 120°/s	0.366	0.457
内旋左 120°/s	0.262	0.531
外旋右 120°/s	0.646 *	0.642 *
外旋左 120°/s	0.463	0.654 *

* $p < 0.05$

垂直姿勢得点: 北京オリンピック日本代表選手第一次選考会で実施された垂直姿勢保持テストの得点。評価観点は高さ、安定性、正しい姿勢(デザイン)。

デザイン得点: 北京オリンピック日本代表候補選手スキル査定会で実施された垂直姿勢保持テストの得点。評価観点はデザイン(垂直姿勢の正しさと伸びやかさ)。

みられたのは、サポートスカル動作の特異性に起因しているのではないかと考えられる。サポートスカル動作は肘を支点にした前腕の回転運動であるが、肘を屈曲し、手のひらを顔の方へ向けた回外状態からさらに前腕の回外を伴いながら肩を外旋する非日常的な動作である。日常において、肩の内旋を伴う動作はたびたび用いられるが、外旋を伴う動作は稀である。したがって、個人間における内旋筋力の差よりも外旋筋力の差がサポートスカルスキルに関係が深いという結果を得たのだと推察される。このことから、棘下筋、小円筋などの上腕の外旋筋群をトレーニングすることが重要と考えられる。これらの筋はインナーマッスルと呼ばれ肩の深層部にあるため、選手が意識しづらい筋である。アウターマッスルと違ってマシンでは鍛えにくいいため、ラバー製バンドや軽量ダンベルなどを用いて筋の動きを意識しながら慎重にトレーニングを行うことが重要である。また、肩を固定してスカーリングを行うには、体幹と上腕を結ぶ大胸筋や広背筋などの大きな筋も重要である。それゆえ、サポートスカルスキル改善のためには肩甲骨周辺の筋をバランスよく鍛える必要がある。

本研究はバイオデックスを用いた単関節の運動の筋力測定の結果であり、本来のシンクロナイズドスイミングでの出力特性とは異なるため、今後はエッグビーターキックおよびサポートスカルの浮上力の筋力およびパワーを定量化する方法を開発する必要がある。しかし、筋機能評価装置を用

いて定期的にシンクロナイズドスイミング選手の筋力をチェックすることは、トレーニング指標として有用であり、今後もコントロールテストとして継続する意義がある。

本研究は2007年度学系内プロジェクト研究の助成金を受けて実施されました。関係者の皆様に厚く謝意を表します。

文 献

- 1) 本間三和子 (2000) : シンクロナイズドスイミングの各種動作における水上荷重負荷. 筑波大学運動学研究, 16 : 13-22.
- 2) HOMMA Mi and HOMMA Ma (2005): Coaching Points for the Technique of the Eggbeater Kick in Synchronized Swimming based on Three-Dimensional Motion Analysis. *Sports Biomechanics*, 4(1) : 73-88, 2005.
- 3) HOMMA Mi and HOMMA Ma (2006): Support scull techniques of elite synchronized swimmers. In J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. Portuguese Journal of Sport Sciences, Vol.6, Suppl. 2: 220-223, 2006.
- 4) 本間三和子, 久野譜也 (2001) : 一流シンクロナイズドスイミング選手の立ち泳ぎ能力と筋力, 筋形態との関連. *体力科学*, 50 (6) : 929.
- 5) 長野哲也, 大島 襄 (1982) : シンクロナイズド・スイミング選手にみられた尺骨疲労骨折. *東日本スポーツ医学会誌*.