

慶應義塾大学学術情報リポジトリ  
Keio Associated Repository of Academic resources

Title	大学水球部員の巻き足動作の運動学的分析
Sub Title	Kinematic analysis of eggbeater kicks of college water polo players
Author	鳥海, 崇(Toriumi, Takashi) 森下, 愛子(Morishita, Aiko)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2011
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.50, No.1 (2011. 1) ,p.33- 39
Abstract	The purpose of this study was to investigate the technique involved in the eggbeater kicks and to identify factors that help players maintain height above the water. The movements involved in the eggbeater kicks of 10 male water polo players, all of whom were on the college team, were analyzed using three-dimensional motion analysis.
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	<a href="http://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00500001-0033">http://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00500001-0033</a>

# 大学水球部員の巻き足動作の運動学的分析

鳥海 崇\*      森下 愛子\*\*

## Kinematic analysis of eggbeater kicks of college water polo players

Takashi Toriumi<sup>1)</sup>, Aiko Morishita<sup>2)</sup>

The purpose of this study was to investigate the technique involved in the eggbeater kicks and to identify factors that help players maintain height above the water. The movements involved in the eggbeater kicks of 10 male water polo players, all of whom were on the college team, were analyzed using three-dimensional motion analysis.

キーワード：巻き足，水球，水中動作

Key words：eggbeater kick, water polo, underwater movement

### 目 的

水球競技において、パスを受けたりシュートを打つ際、そしてそれらを阻止する際には体を水面から高く上げる必要がある。体を高く上げるための方法は主に2通りある。一つは飛びつき（ジャンプ）であり、短時間より高い位置に上半身を持ち上げる技術である。もう一つは立ち泳ぎであり、高い位置を維持するための技術である。基本的にはどちらの技術も巻き足を利用して上方への推進力を生み出す。巻き足は下肢を左右交互かつ逆向きに回転させる回旋動作である。飛びつきでは巻き足を短時間に上方へ出来る限り大きな推進力を生み出すために足の動きを変化させる。立ち泳ぎはその回旋動作を一定時間継続する。立ち泳ぎは両足で常に上方への強度な推進力を発揮し続けなければならないので飛びつきよりも技術的に難しい。(Sanders, 1999)。

これまで立ち泳ぎの能力測定方法として、支重測定が用いられてきた(財団法人日本水泳連盟, 2003)。これ

は水中において一定質量の重りを持ちながら立ち泳ぎを行い、一定の高さを維持できる時間を測定するものである。この測定結果では高さを維持できる時間が長いほど立ち泳ぎの能力が高いとされている。

しかしながら近年、シンクロナイズドスイミング競技において立ち泳ぎの水中画像解析から、立ち泳ぎの能力は下肢の動作方法により判定できるという結果が報告された(Homma and Homma, 2005)。すなわち膝の位置の最大高さが大きく、そして踝の変動値が小さいほど優れた立ち泳ぎと判定するものである。しかしながらこのように巻き足を中心として魅せる競技であるシンクロナイズドスイミングの立ち泳ぎ技術が、コート内を泳ぎ相手と接触するボールゲームである水球の立ち泳ぎに適用できるかどうかはまだわかっていない。そこで本研究では水球競技者に対する立ち泳ぎの水中画像解析を試み、従来の支重測定で評価された立ち泳ぎの能力と水中画像解析から判定する動作との関係を調べることを目的とする。

\* 慶應義塾大学体育研究所専任講師

\*\* 慶應義塾大学体育研究所助教

1) Assistant Professor, Institute of Physical Education, Keio University

2) Research associate, Institute of Physical Education, Keio University

## 方 法

### A. 対 象

日頃から水球の練習を専門的に実施している男子大学水球部員10名（年齢 $20.9 \pm 0.6$ 歳，競技歴 $5.3 \pm 1.2$ 年，身長 $173.7 \pm 7.0$ cm，体重 $66.1 \pm 6.7$ kg）を被験者とした。被験者のうち8名が過去の競技記録から全国大会の出場歴を有していた。競技歴にばらつきはあるものの、いずれの被験者も十分に高い水球技能及び立ち泳ぎ技能を有しており、立ち泳ぎ技能に関する安定したデータ抽出が行われるものと考えられた。

### B. 実験環境

実験は慶應義塾大学プール（縦50m × 横25m × 深さ2m）にて実施した。

### C. 測定方法

#### 1. 支重測定

測定の方法は日本水泳連盟水球委員会（2003）に準拠した。被験者は水深2mのプールの底に沈んだ15kgの重りを両手で保持し、浮かび上がった後、立ち泳ぎによる支重を行った。頭頂部が水面から出てきた段階でストップウォッチによる測定を開始し、被験者が重さに耐え切れず再び頭頂部が水面に沈む段階までの時間を測定した。測定は1度行い、後日追試を行い結果に大きな違いがなく再現性が保証されることを確認した。

#### 2. 立ち泳ぎの水中動作解析

##### A. 画像解析による下肢三次元座標の算出法

巻き足動作時の下肢の回旋動作を測定するために、三次元画像分析により被験者の下肢の三次元座標の算出を行い、大転子、膝及び踝の位置の時間変化を測定した。測定は三次元画像解析を行うためプール底面に水中カメラを2台設置して行った。カメラはヤマハ製「水中モニターシステム2」であり毎秒30コマで撮影できるカメラ2台とそれらを同期させるビデオカウンタにより構成した。

被験者が試技をおこなっている際の前方と右前方の2か所に水中動作撮影用のカメラを設置した。カメラ1は被験者の正面12m，底面からの高さ1mの位置に設置した。カメラ2はカメラ1と被験者を結んだ直線の垂直方向5mの位置に被験者を斜め前方から撮影した。これらのカメラ位置で被験者が試技を実施する場所を中心と

した2m立方の範囲を撮影するように各カメラの画角調整を行った。撮影した映像上において被験者身体の分析対象点の視認性をより良好にするため、黒色マーカを被験者の両脚大転子、膝、踝に装着した。三次元DLT法による三次元実座標変換のために、既知の空間座標を得る較正作業を実施した。コントロールポイントを縦1.8m × 横1.8m × 高さ2.0mを配置し、全12点を事前に2台のカメラで撮影した。この較正用映像と試技を撮影した映像から、動作解析ソフトウェア（DKH社製FrameDIAS IV）により下肢各部の三次元座標を算出した。

### B. 試技内容

画像分析による下肢三次元座標の算出において試技は立ち泳ぎ30秒とし、試技を1度行った。立ち泳ぎを維持する高さとして、両腕を肩の前方に伸ばし、両肩から手先までの位置と水面を一致させた。その際、手の動作（スカーリング）がない状態で試技を行った。なお、この状態の運動強度は被験者の主観的な疲労度を示す指標であるBorg指数では被験者のいずれもが10～14であり、また全ての被験者がこの状態で5分以上立ち泳ぎを継続できることを確認した。試技開始から動作が安定した10秒後のデータから画像分析を行った。また、後日本測定の追試を行い結果に大きな違いがなく再現性が保証されることを確認した。

## 結 果 と 考 察

### 1. 水中映像解析

図1には立ち泳ぎ支重測定の結果を示す。支重時間の長い者からA, B, C…と標識を付けた。最小値は11.4秒，最大値は60.2秒であった。

また水中画像の解析結果例を図2に示す。図2は被験者Aの右下腿部における、大転子、膝、踝の3点のプール水面からの深さの時間変化である。回旋動作の1周期を100%とし、それぞれ4周期分（400%）を記載した。また、表1には被験者A及び周期ごとの各部位の最大値、最小値をまとめた。なお、本研究ではHomma and Homma（2004）の結果と比較するため、測定結果を被験者の身長や下肢長での規格化を行っていない。

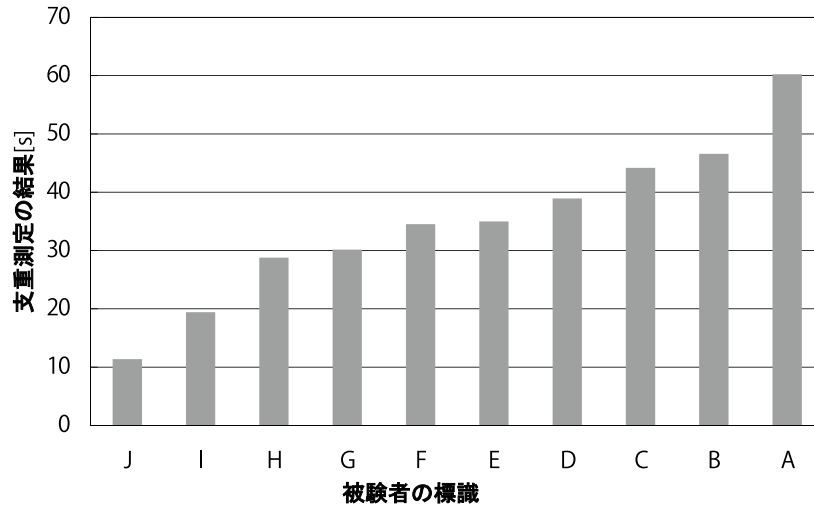


図1 被験者の標識と支重測定の結果 [s]

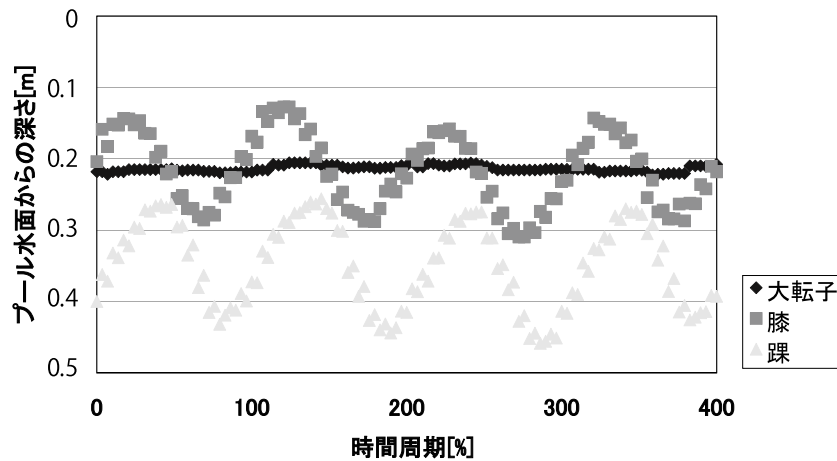


図2 被験者 A における右下肢の各部位の時間ごとの位置変化 水中画像の解析結果より

表 1 A. 被験者 A における周期ごとの右下肢の各部位の時間変化の最大値, 最小値 [m]

	右大転子	左大転子	右膝	左膝	右踝	左踝
1 周期						
最大値	0.79	0.81	0.86	0.89	0.74	0.77
最小値	0.78	0.79	0.71	0.73	0.57	0.61
2 周期						
最大値	0.79	0.80	0.87	0.89	0.74	0.75
最小値	0.78	0.79	0.71	0.72	0.56	0.60
3 周期						
最大値	0.80	0.80	0.84	0.88	0.73	0.76
最小値	0.78	0.79	0.69	0.72	0.54	0.61
4 周期						
最大値	0.79	0.81	0.86	0.88	0.73	0.75
最小値	0.78	0.79	0.71	0.71	0.57	0.58

表 1 B. 被験者 F における周期ごとの右下肢の各部位の時間変化の最大値, 最小値 [m]

	右大転子	左大転子	右膝	左膝	右踝	左踝
1 周期						
最大値	1.65	1.69	1.62	1.71	1.46	1.50
最小値	1.64	1.64	1.33	1.42	1.12	1.22
2 周期						
最大値	1.65	1.65	1.63	1.62	1.44	1.46
最小値	1.59	1.59	1.33	1.34	1.12	1.13
3 周期						
最大値	1.58	1.59	1.64	1.67	1.43	1.47
最小値	1.56	1.55	1.36	1.34	1.11	1.11
4 周期						
最大値	1.59	1.60	1.65	1.75	1.43	1.52
最小値	1.56	1.57	1.36	1.44	1.08	1.24

図3は被験者Aと被験者Fの大転子を基準とした左右の膝の位置の時間変化（1周期分）である。

同様に図4は被験者Aと被験者Fの大転子を基準とした左右の踝の位置の時間変化である。

図3と図4から左右の膝及び踝の大転子からの位置変化を調べた。これらの図から左右の膝の運動範囲が同じではないことが判明した。今回測定した10名はいずれも、動作中左膝の方が右膝に比べて高い位置にあり、左右差が見られた。Homma and Homma (2004) においても同様の傾向が示されている。しかしながら本研究においては左右脚の対称的な動作として扱い、右脚を分析対象とした。

この図3から右膝の最大値（膝 max とする）、図4から右踝の最大値と最小値の差（踝 max-踝 min）、及び図1の支重測定結果をまとめたものが表2である。

Homma and Homma (2004) では立ち泳ぎ技術の優劣を議論する際の指標として、膝 max 及び踝 max-踝 min の値を用いている。すなわち、膝 max の値が大きいほど下肢の移動幅が大きくなり、そして踝 max-踝 min の値が小さいほど水平方向へのキック、すなわち揚力を利用できるために立ち泳ぎが優れていると判定している。

本研究では表2の膝 max 及び踝 max-踝 min の値と、従来の水球で用いられている立ち泳ぎ支重測定の数値との関連を調べるため、それぞれをグラフにした。図5は表

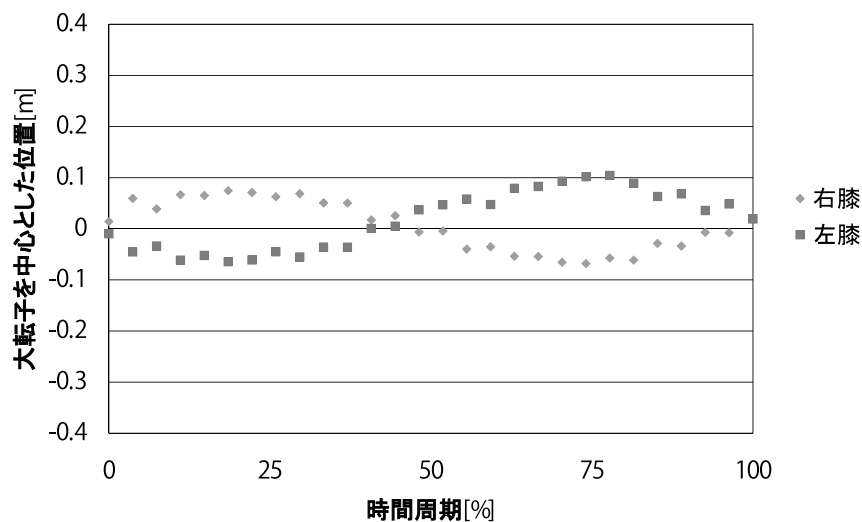


図3 A. 被験者Aにおける大転子を基準とした左右の膝の位置の時間変化

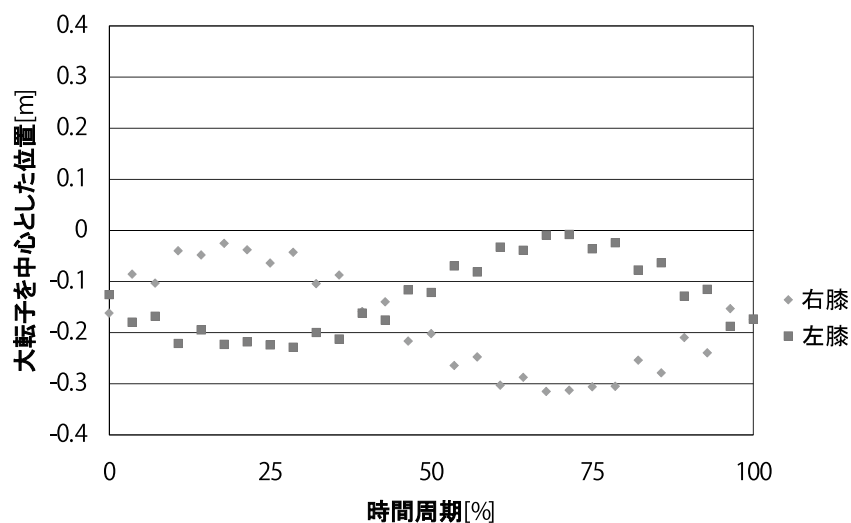


図3 B. 被験者Fにおける大転子を基準とした左右の膝の位置の時間変化

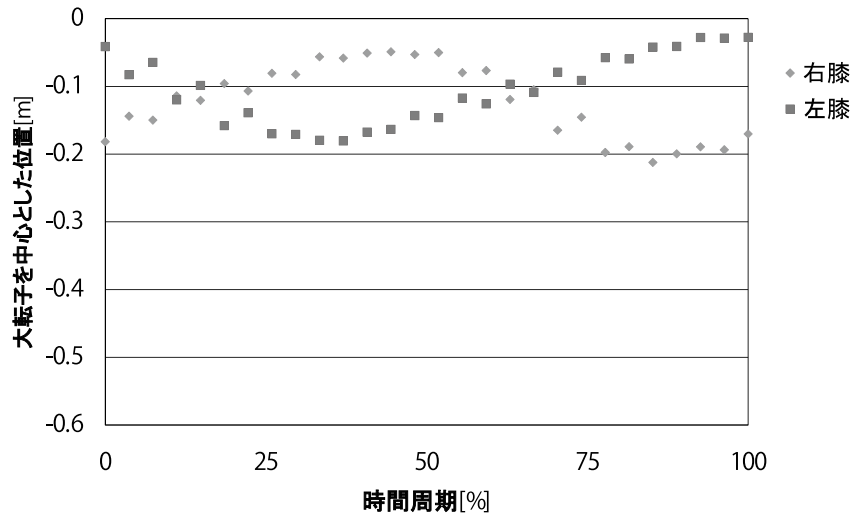


図 4 A. 被験者 A における大転子を基準とした左右の踝の位置の時間変化

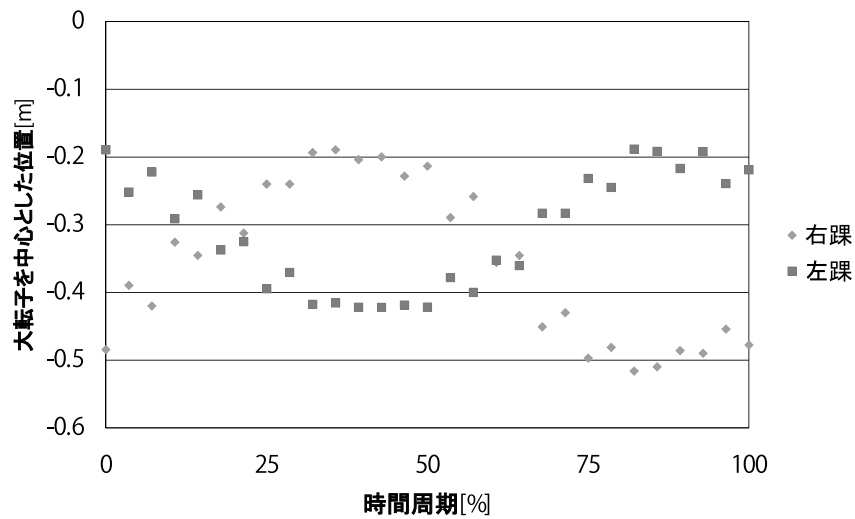


図 4 B. 被験者 F における大転子を基準とした左右の踝の位置の時間変化

表 2. 被験者ごとの膝 max[m], 踝 max - 踝 min[m] 及び支重測定結果 [s] の一覧

被験者	膝 max	踝 max - 踝 min	支重測定
A	0.075	0.16	60.2
B	0.009	0.23	46.6
C	-0.17	0.35	44.2
D	0.02	0.48	38.9
E	-0.04	0.18	35.0
F	-0.03	0.34	34.5
G	-0.24	0.32	30.2
H	-0.21	0.36	28.8
I	-0.14	0.32	19.4
J	-0.12	0.22	11.4

2の膝 max を縦軸に、支重の結果を横軸にまとめたものである。同様に図6は表2の踝 max-踝 min を縦軸に、支重の結果を横軸にまとめたものである。

図5の結果より、支重測定値が大きい者ほど、膝 max の値も大きい傾向にあることがわかる。しかしながら被験者 C, G, H のように例外もあることがわかる。これらの結果がデータ数が少ないための外れ値なのか、異なる傾向を示すものなのかは今回の結果からは判断できない。今後はデータ数を増やす、もしくは支重ではない立ち泳ぎ測定を実施することでこれらの結果を特徴づけられるだろう。

また、図6では今回の結果からは、支重測定値が大きいほど踝 max-踝 min の値が小さい、という傾向は読み取れなかった。今回の結果より被験者を踝 max-踝 min の値で分類すると、踝 max-踝 min の値が小さいグループ (0.23 ~ 0.32 である A, B, E, J) と、大きいグループ

(0.32 ~ 0.48 である C, D, F, G, H, I) に分けることができる。Homma and Homma (2004) の結果ではキックの方式を抗力利用型 (踝 max-踝 min の値が大きい) と揚力利用型 (踝 max-踝 min の値が小さい) に分けている。本研究で得られた被験者の踝 max-踝 min の値も2つのグループに分けられることから踝 max-踝 min の値が0.23以下である被験者 A, B, E, J が揚力利用型のキック、0.32以上である被験者 C, D, F, G, H, I が抗力利用型のキックであると推定できるかもしれない。また、この場合、キックの型による違いは立ち泳ぎ測定の結果には影響を与えていない。なお、本研究の結果は測定値の絶対値を用いており、被験者の身長や下肢長の差による影響を考慮していない。今後より詳細な議論をするためには測定値を身長や下肢長で規格化した相対値、もしくは回旋角度で議論する必要がある。

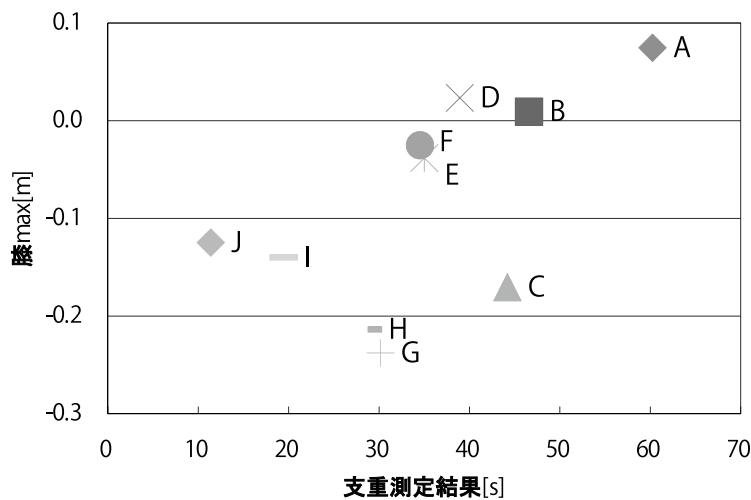


図5. 被験者ごとの膝maxと支重測定結果との関係

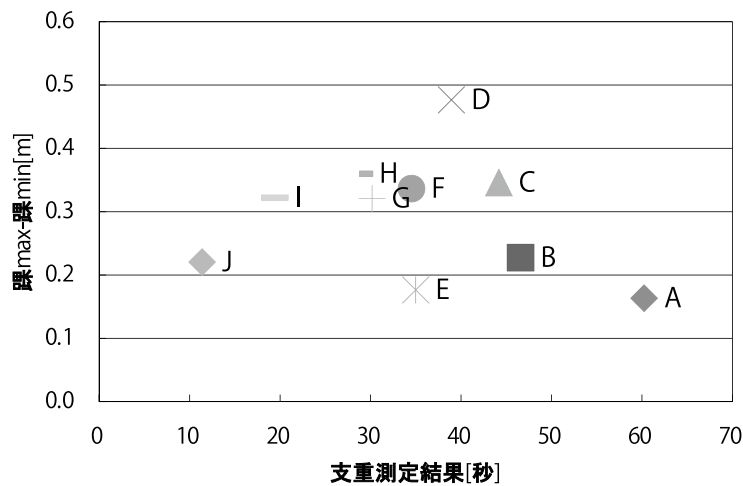


図6. 被験者ごとの膝max-踝minと支重測定結果との関係

## 結 論

本研究では K 大学水球部員10名の立ち泳ぎについて、支重測定と水中カメラ撮影を行い、測定結果と水中動作の特徴との関係について調べた。

水中動作の解析結果から、回旋動作である立ち泳ぎの任意の1周期を見ることで被験者の特徴を読み取った。また、左右の対称性については左膝の方が右膝よりも相対的に高い位置で循環動作をしていた。

支重測定の結果と膝の最大値（膝 max）についてはおおそ関係性があることがわかった。しかしながら傾向から大きく外れているデータもあり、これがデータ数の不足によるものなのか、それとも別の傾向を示しているのかは本研究の結果からは判断できなかった。

また、支重測定の結果と踝の最大値と最小値の差（踝 max-踝 min）については相関は読み取れなかったが、踝 max-踝 min の値が0.23から0.32の間をしきい値として抗力利用型キックと揚力利用型キックに分けられる可能性がある。

## 引用文献

- Homma, M. and Homma, M. (2005). Coaching Points for the Technique of the Eggbeater Kick in Synchronized Swimming based on Three-Dimensional Motion Analysis. *Sports Biomechanics*, 4: 73-88.
- Sanders, R. H. (1999). Analysis of the Eggbeater Kick Used to Maintain Height in Water Polo. *Journal of applied biomechanics*, 15: 284-291.
- 財団法人日本水泳連盟水球委員会. (2003). 体力測定の実施方法. [http://www.swim.or.jp/11\\_committee/03\\_polo/0703241\\_3.html](http://www.swim.or.jp/11_committee/03_polo/0703241_3.html)

## 参考文献

- 高木英樹. (2007). 水球競技のバイオメカニクス. *バイオメカニクス研究*, 11(2): 68-82.