

〔原 著〕

最大と最大下泳におけるクロール泳中のキック動作方向の比較

佐藤 大典 (中京大学大学院), 水藤 弘吏 (愛知学院大学心身科学部),
草薙 健太 (中京大学スポーツ科学部), 水上 拓也 (中京大学大学院),
高橋 繁浩 (中京大学スポーツ科学部)

Comparison of the direction of kick movement during front crawl at different swimming velocities.

Daisuke SATO¹⁾, Hiroshi SUITO²⁾, Kenta KUSANAGI³⁾,
Takuya MIZUKAMI²⁾ and Shigehiro TAKAHASHI¹⁾

【Abstract】

The purpose of this study was to compare the direction of kick movement during front crawl at different swimming velocities. Eight competitive national-level male swimmers with a specialty in front crawl participated in this study. They performed the front crawl at two different swimming velocities-maximum velocity (V100%) and 80% of the velocity of the their respective best times for a 100 m front crawl (V80%). The trials were recorded with four underwater digital video cameras. One stroke cycle, between two consecutive right-hand entries, was analyzed. Downbeat kick movement was quantified using an index of kick pattern (IKP). The following results were observed.

- 1) There was no significant difference in the vertical width of the kick movement between V100% and V80%.
- 2) There was a significant difference in the horizontal width of the kick movement between V100% and V80% because of an increase in the hip roll angle.
- 3) The IKP was dependent on the horizontal width.
- 4) The kick movement was confirmed to have an overall vertical direction at V100%.
- 5) The kick movement was confirmed to have an obliquely downward direction at V80%. These results indicated different directions of the kick movement during front crawl at different swimming velocities.

Keyword: front crawl, direction of kick movement, swimming velocities

キーワード: クロール泳, キック動作方向, 最大と最大下泳

1) Graduate School of Health and Sport Sciences, Chukyo University

2) Faculty of Psychological and Physical Science, Aichi Gakuin University

3) School of Health and Sport Sciences, Chukyo University

1. 緒言

クロール泳は上肢のストローク動作と下肢のキック動作を組み合わせて行われる。キック動作は、一方の脚を蹴り下ろすダウンビート局面と同時に、もう一方の脚を蹴り上げるアップビート局面により構成される (Maglischo, 2003)。Deschodt et al. (1999) および Gourgoulis et al. (2014) は、クロール泳においてキック動作を行った場合の方が行わなかった場合よりも泳速度が10%から13%ほど有意に向上したと報告している。このことは、クロール泳中のキック動作がパフォーマンス向上に貢献していることを意味する。

クロール泳中のキック動作による推進力はストローク動作より小さく (中島, 2005)、高速になるほど発揮時間は短い (市川ほか, 2012) ことが報告されている。Yanai (2001) および中島 (2005) は、キック動作の役割を力学的観点から検討し、ストローク動作による下肢を沈めるモーメントをダウンビートによって打ち消すことで、身体の水平姿勢維持に貢献していると報告している。さらに Yanai (2003) は、矢状軸を中心に身体が回転し、胴体の左右傾斜を周期的に作る動作 (矢内, 2006: 以下、ローリング動作) に貢献する流体力について、上肢および下肢による流体力は1ストローク中に3周期確認され、これは1ストローク中におけるキック動作の周期に一致していたことを報告している。このことは、円滑なローリング動作を行うために必要な力のうち、最も貢献する浮力 (Yanai, 2004) では補えない部分を、キック動作によりローリング動作に貢献する流体力を発揮していることを示唆している。

キック動作は、ローリング動作で身体が傾くため、足部の軌道が斜め方向になることが推察される。泳速度の増減とローリング動作の変化に関して、Yanai (2003) は、泳速度の増加とともに肩関節ローリング角度が減少したことを報告している。さらに、Psycharakis and Sanders (2008) は、200 m クロール泳試技中において、泳速度の低下とともに股関節ローリング角度が増加したことを報告している。これらのことより、泳速度の低下とともにローリング角度が増加するため、キック

動作はより斜め方向に行われることが推察できる。しかしながら、これまで泳速度の違いによるキック動作の方向を比較・検討した研究報告は見当たらない。

そこで本研究は、異なる2種類の泳速度におけるクロール泳中のキック動作の方向を定量化し、比較・検討することを目的とした。

2. 方法

本研究内容は、中京大学倫理審査委員会によって承認を得た (承認番号: 2014-039)。

1. 被験者

被験者はクロール泳を専門とする全国大会出場レベルの男子競泳選手8名 (年齢: 19.9 ± 1.3 歳、身長: 177.3 ± 7.0 cm、体重: 72.2 ± 5.9 kg、100 m 自由形最高記録: 51.36 ± 0.94 秒) とした。実験に先立ち、全ての被験者には本研究の目的および測定内容、危険性について十分に説明を行った後、実験への参加の同意を得た。

2. 実験試技

試技は屋外プール (50 m × 8 レーン、水深 1.5 m から 3.0 m) にて、泳速度の異なる 50 m クロール泳を2試技行わせた。泳速度は、最大努力泳 (以下、V100%) と長距離泳を仮定した 100 m 自由形自己最高記録時の平均泳速度の 80% (以下、V80%) とした。V80% では泳速度を規定するために、被験者には試技レーンのプール底に設置したペースメーカー (高木綱業株式会社製、スイミングペースメーカー PMS-103) に合わせて泳ぐよう指示した。また、呼吸動作の影響を除外するため、試技中は呼吸動作を行わないように指示をした。なお、試技前には各自 45 分間程度のウォーミングアップを行わせた。

3. 撮影およびデータ処理

実験環境設定を Figure 1 に示す。撮影には防水ケース内 (Sony 社製、SPK-HCG) に設置したビデオカメラ4台 (Sony 社製、HDR-PJ760V、HDR-CX700、サンプリング周波数 60 Hz、シャッター速度 1/1000 秒) を用い、泳者に対し水中斜め前方と斜め後方に2台ずつ設置した。撮影範囲は、スタート後から安定した1ストローク (右手

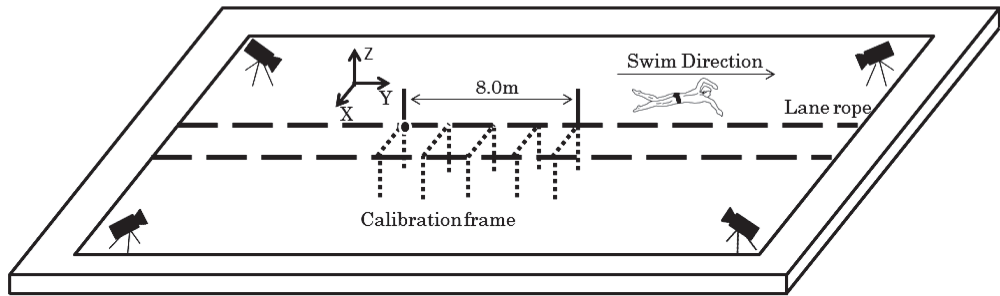


Figure 1 Schematic representation of the experimental set-up.

が入水してから再度右手が入水するまで)が完全に撮影できるよう、スタート後28 mから36 mまでの8 m区間とした。撮影した空間の3次元座標軸は、水の表面に原点を置いた右手直交座標系とした(X軸：左右方向、Y軸：推進方向、Z軸：鉛直方向)。3次元分析のための較正点は、撮影範囲に42点用いた。

得られたビデオ映像から1ストローク中における被験者の左右手部の中指の先端、左右大転子、左右足首の計6点を画像解析ソフトウェア(DKH社製、Frame-DIAS V)を用いて手動デジタイズを行った。計測範囲は撮影範囲内における右腕の1ストローク動作とした。得られたデジタイズデータは3次元DLT法を用いて分析し、3次元座標値を算出した。X、YおよびZの座標軸成分の最大誤差は、それぞれ0.009 m、0.008 m、0.008 mであった。得られた3次元座標データは、遮断周波数6 HzのButterworth型ローパスデジタルフィルターによって平滑化した。遮断周波数は水中動作を撮影・分析している先行研究を参考に決定した(Cappaert et al., 1995)。

4. 分析項目

本研究では収集したデータから以下に示す項目を算出し、分析した。

1) 泳速度

泳速度 (m/sec) は、1ストローク中における左右大転子に取り付けたマーカーの中心のY軸方向の変位を時間微分することにより算出した。

2) キック動作局面分け、第1キック決定方法およびキック動作回数

キック動作局面は、得られた3次元座標をX-Z平面に投影し分析した。指導書(Maglischo, 2003)を参考に、キック動作について足首の鉛直方向速度が正の場合をアップビート局面、負の場合をダウンビート局面と定義した(Figure 2)。Maglischo (2003)は、「アップビートは、次のダウンビートを打つために脚を元の位置へ戻す動作」と述べているため、アップビート局面はクロール泳動作に直接影響しないと考え、本研究ではダウンビート局面のみを分析対象とした。また、右手入水後の最初のダウンビート局面において、足首の鉛直方向最下点が確認されたキック動作を第1キックとした。1ストローク中に確認されたダウンビート局面における足首の鉛直方向最下点の回数を1ストローク中のキック動作回数とした。

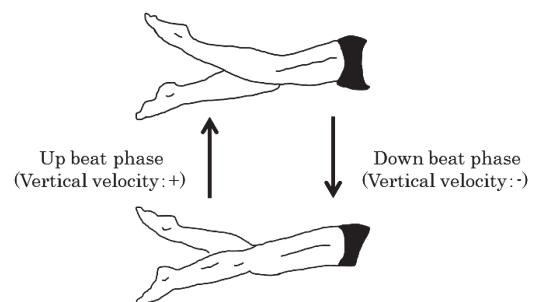


Figure 2 Definition of kicking phase.

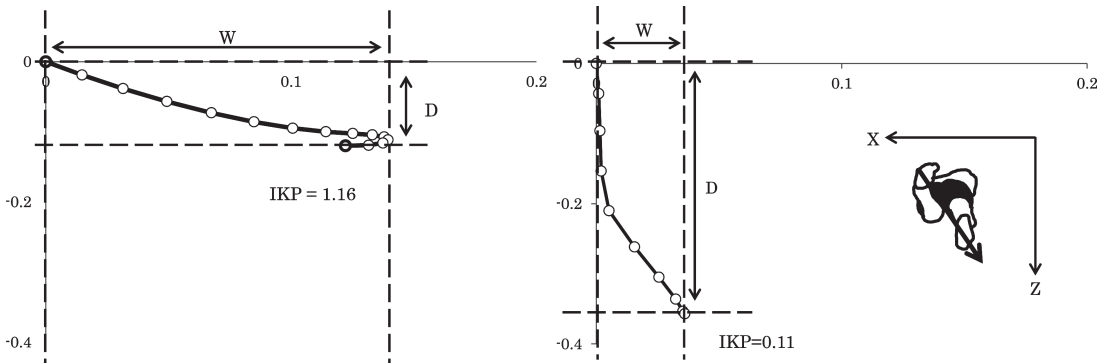


Figure 3 Representation the Index of Kick Pattern. (IKP)

(W: Amount of X axial displacement. D: Amount of Z displacement.)

3) 下肢の動作方向指標

本研究では、ダウンビート局面における足首の左右方向への変位量（以下、左右幅）を、鉛直方向への変位量（以下、鉛直幅）で除することによって算出した値をキック動作の特性を示す指標（IKP：Index of Kick Pattern, Figure 3）とした。これは、値が1よりも高いほどより左右方向へ、低いほどより鉛直方向へキック動作が行われることを示す。

4) 股関節ローリング角度

股関節ローリング角度として、絶対座標系におけるX軸と左右の大転子がなす角度を算出した（Figure 4）。泳者の水平姿勢時を 0° とし、股関節が水底方向にローリングした場合の左右それぞれの最大角度の合計値を股関節最大ローリング角度とした。

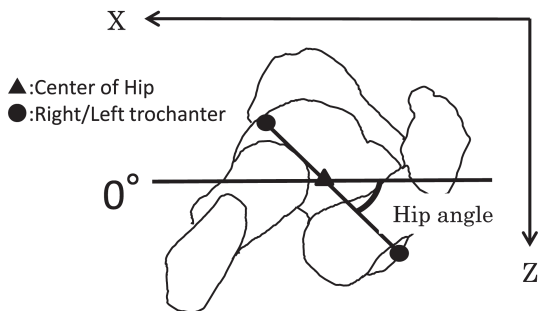


Figure 4 Definition of hip roll angle.

5. 統計処理

V100%とV80%における各項目の比較には、対応のあるt検定を用いた。また、1ストローク中の最大左右幅、最大IKPと股関節最大ローリング角度の関係を検討するため、ピアソンの積率相関係数を算出した。なお、本研究の統計処理ではSPSS statistics 23.0 (IBM社製)を用い、有意水準は5%未満とした。

3. 結果

平均泳速度、股関節最大ローリング角度、ダウンビート局面における鉛直幅、左右幅、IKPをTable 1に示した。

1. 平均泳速度

平均泳速度は、V100%が 1.80 ± 0.07 m/sec、V80%が 1.55 ± 0.04 m/secと、V100%の方が有意に速かった ($p < 0.001$)。

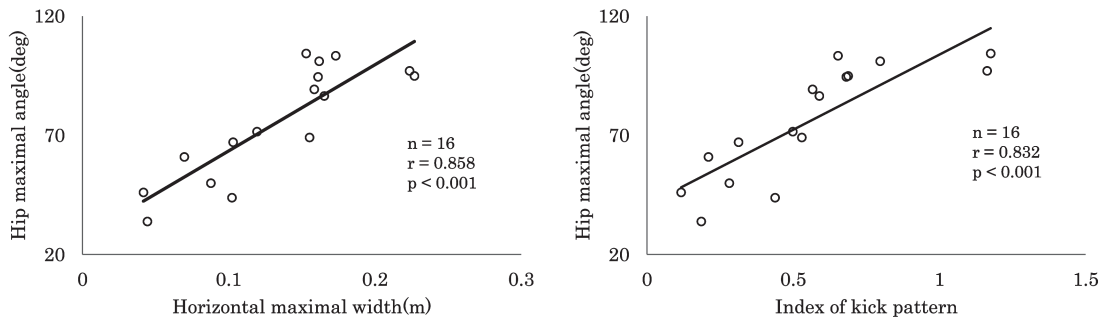
2. キック動作回数、ダウンビート局面における鉛直幅、左右幅、IKP、股関節最大ローリング角度

本研究では1ストローク中のキック動作回数をダウンビート局面における足首の鉛直最下点出現回数とした。その結果、全泳者において両試技ともに1ストローク中に6回のキック動作が確認された。股関節最大ローリング角度は、V100%で 57.4 ± 17.2 deg、V80%では 94.2 ± 11.3 degとV80%

Table 1 Comparison of kinematics parameters for two swimming paces.

	Swimming velocity (m/sec)	Hip maximal angle (deg)	Vertical width (m)	Horizontal width (m)	IKP
V100%	1.80±0.07	57.4±17.2	0.32±0.04	0.05±0.03	0.15±0.1
V80%	1.55±0.04	94.2±11.3	0.32±0.05	0.11±0.06	0.35±0.21
t-test	***	**	n.s.	***	**

*** : p<0.001, ** : p<0.01

**Figure 5** Relationships between Hip maximal angle and Horizontal maximal width and Index of kick pattern.

の方が有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。ダウンビート局面における鉛直幅では、V100%が 0.32 ± 0.04 m、V80%が 0.32 ± 0.05 m と、両試技間において有意な差は認められなかった ($p = 0.70$, n.s.)。一方で、左右幅では、V100%では 0.05 ± 0.03 m、V80%では 0.11 ± 0.06 m と V80%の方が有意に高い値を示した ($p < 0.001$)。IKPにおいても同様に、V100%では 0.15 ± 0.11 、V80%では 0.35 ± 0.21 と V80%の方が有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。Figure 5は最大IKP、最大水平幅、および最大鉛直幅と股関節最大ローリング角度との関係を示したものである。最大IKPは股関節最大ローリング角度と正の相関関係がみられ ($r = 0.832$, $p < 0.001$)、最大左右幅についても股関節最大ローリング角度と正の相関関係がみられた ($r = 0.858$, $p < 0.001$)。

4. 考察

1. キック動作の方向について

本研究では、クロール泳中におけるキック動作の方向性について定量的に評価するため、ダウン

ビート局面における足首の左右幅を鉛直幅で除した値 (IKP) を用いた。さらに、異なる泳速度でのキック動作の方向性について検討した。その結果、両試技間におけるIKPの値に有意な差が認められたことから、泳速度の違いによってキック動作の方向が異なることを示した。また、IKPを算出する際に用いた鉛直幅では、両試技間に有意な差が認められなかったのに対し、左右幅ではV80%の方が有意に高値を示した。つまり、泳速度の低下に伴い、鉛直方向よりも左右方向への下肢の変位量に影響を及ぼすことが考えられる。本研究で用いたIKPは左右幅に依存していたことを示すと同時に、V80%では鉛直方向のみではなく左右方向にも動作する、すなわち斜め下方向に動作していたことが示された。

1) 鉛直幅

鉛直幅は両試技間に有意な差が認められなかった。中島 (2005) は水泳シミュレーションモデルSWUMを用いて、キック動作の振幅を小さくした場合の力学的変化について検討した。その結果、振幅の減少に伴い、下半身が水底方向に沈むこと、また、ストローク長が減少し、泳速度が低

下することを報告している。したがって、本研究では、両泳速度において同等の鉛直幅を保つことにより、泳者は下肢が沈降することを抑制し、できる限りストローク長を獲得しようとしたことが考えられる。

2) 左右幅と股関節最大ローリング角度

最大左右幅と股関節最大ローリング角度の間に有意な正の相関関係が認められた。このことは、股関節の左右方向への大きな傾きが、キック動作の左右方向への変位量の増加に大きく関与していると考えられる。今後は、股関節ローリング角度がキック動作に与える影響をより詳細に検討する必要があるだろう。

3) V100%時とV80%時のキック動作の比較

本研究で用いたIKPでは、V80%の方が有意に高値を示した。つまり、V100%ではより鉛直方向にキック動作が行われていたのに対し、V80%ではより斜め方向に動作していたといえる。また、最大IKPと股関節最大ローリング角度の間には正の相関関係が認められた。Psycharakis and Sanders (2008) は、200 m 泳試技中において、泳速度の減少とともに股関節ローリング角度が増加したことは、ストローク頻度が減少したことが影響していると報告している。このことより、ストローク頻度の減少により股関節ローリング角度が増加することが、IKPの値を増加させる、すなわち、キック動作の方向に大きく関与するといえ

る。クロール泳中のキック動作の役割は、身体の水平姿勢を維持すること（中島, 2005; Yanai, 2001）や、ローリング動作を円滑に行うため（Yanai, 2003）であると報告されている。V100%におけるより大きな鉛直方向へのキック動作は、身体の水平姿勢を維持するために行われたとする先行研究（中島, 2005; Yanai, 2001）と一致すると考えられる。一方で、V80%におけるより斜め方向へのキック動作は、大きなローリング動作を円滑に行うための効果があるとする先行研究（Yanai, 2003）を支持すると考えられる。ローリング動作に貢献する流体力は、上下左右方向（推進力にならない方向）に発揮する必要がある（Yanai, 2003）。そのため、泳者は鉛直方向だけではなく、左右方向にも大きく動作することでローリング動作に貢献する流体力を獲得していたのではないかと考える。しかしながら、V80%の1ストローク中に見られた6度のキック動作のIKPをそれぞれ確認したところ、V80%においてもV100%と同等なIKPを示すキック動作が確認された（Figure 6）。Sanders and Psycharakis (2009) は、キック動作は肩関節のローリング動作の影響よりも、股関節のローリング動作の影響が大きいことを報告している。さらに、市川ほか (2013) は、6ビート泳中に足部が発揮する流体力は、体幹部のローリング動作の影響を受け、それぞれのキック動作が異なった役割を果たしている可能性

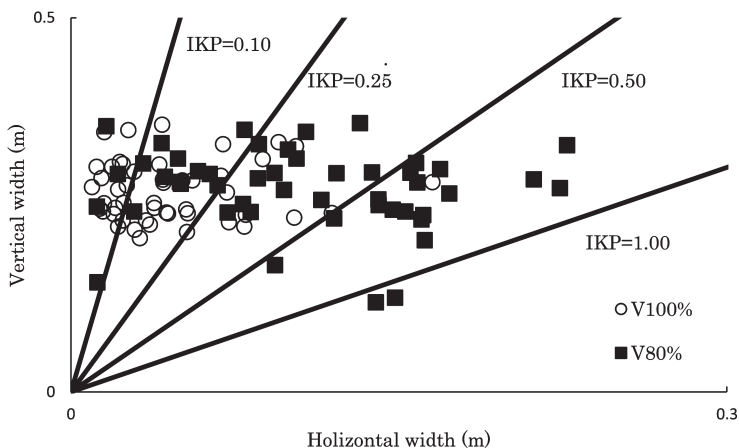


Figure 6 IKP in six times of lower limbs movement for two swimming paces.

を示唆している。このことより、V80%における2種類のキック動作は、股関節のローリング動作の影響により、異なった役割を果たしている可能性が考えられる。今後は、泳速度が異なるクロール泳でのキック動作の役割をより詳細に検討するため、キック動作が発揮する流体力の量および方向を測定し、それぞれの下肢動作の役割を力学的に検討することが必要である。

5. 結論

本研究では、2種類の異なる泳速度でのクロール泳におけるキック動作の方向を比較、検討することを目的とした。その結果、以下のことが確認された。

- ① キック動作の鉛直幅に有意な差は認められなかった。
- ② キック動作の左右幅に有意な差が認められた。このことは、股関節最大ローリング角度の増加が影響したと考えられる。
- ③ 本研究で用いたIKPの値は、左右幅に依存した。
- ④ V100%におけるキック動作は、より鉛直方向に動作した。
- ⑤ V80%におけるキック動作は、より斜め下方向に動作した。

以上のことより、異なる泳速度のクロール泳では、最大ローリング角度が、キック動作の左右方向の動きに影響を及ぼすことが示された。今後はより詳細な検討を行うため、3次元動作分析を用いて、股関節3次元角度とキック動作の方向の関係性を検討することや、キック動作を力学的な観点からの検討が求められる。

6. 引用参考文献

- 1) Cappaert, J. M., Pease, D. L., and Troup, J. P. (1995) Three-dimensional analysis of the men's 100-m freestyle during the 1992 Olympic games. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 103-112.
- 2) Deschodt, V. J., Arzac, L. M., and Rouard, A. H. (1999) Relative contribution of arms and legs in

humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80 : 192-199.

- 3) Gourgoulis, V., Boil, A., Aggeloussis, N., Toubekis, A., Antoniou, P., Kasimatis, P., and Mavromatis, G. (2014) The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences*, 32 (3) : 278-289.
- 4) 市川 浩・栗木明裕・田場昭一郎・太田 憲・田口正公 (2013) 足部圧力変動からみたクロール泳6ビートキックの流体力発揮. *日本水泳・水中運動学会 2013 年次大会論文集* : 72-75.
- 5) 市川 浩・田原亮二・田場昭一郎・田口正公 (2012) クロール泳のキック動作が推進に貢献する可能性の検討. *日本水泳・水中運動学会 2012 年度年次大会講演論文集* : 120-123.
- 6) Maglischo E. W. (2003) *Swimming fastest*. Human Kinetics, Champaign III, pp. 117-118.
- 7) 中島 求 (2005) 水泳人体シミュレーションモデルによる標準的6ビートクロール泳の力学的考察. *日本機械学会論文集*, B(71) : 1370-1376.
- 8) Psycharakis, S. G., and Sanders, R. H. (2008) Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 : 2129-2136.
- 9) Sanders, R. H., and Psycharakis, S. G. (2009) Rolling rhythms in front crawl swimming with six-beat kick. *Journal of Biomechanics*, 42 : 273-279
- 10) Yanai, T. (2001) Rotational effect of buoyancy in front crawl : does it really cause the legs to sink?. *Journal of Biomechanics*, 34 : 235-243.
- 11) Yanai, T. (2003) Stroke frequency in front-crawl : its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. *Journal of Biomechanics*, 36 : 53-62.
- 12) Yanai, T. (2004) Buoyancy is the primary source of generating bodyroll in front-crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 37 : 605-612.
- 13) 矢内利政 (2006) クロール泳におけるバタ足の役割：パラダイムの変換？. 2006年日本水泳・水中運動学会年次大会論文集 : 2-7.