

バタフライのドルフィンキックにおける下肢3関節の屈伸の時相差

小笠原悦子*, 田口 信教*, 辻 浩幸*, 深代 千之*

Kinematical Study on a Dolphin Kick with the Butterfly Stroke

Etsuko OGASAWARA*, Nobutaka TAGUCHI*,
Hiroyuki TSUJI*, and Senshi FUKASHIRO*

Abstract

The purpose of this study was to examine a dolphin kick with the butterfly stroke. Subjects were six swimmers: a world record holder (MM) and five collegiate butterfly stokers. This study consisted of two filming procedures; (1) MM swam in the event of 200m butterfly stroke of the Pan Pacific Championships in Tokyo of 1985, (2) The collegiate swimmers swam at three different speeds (74 %, 87 % and 97 % of maximal swimming speed). The motions in the water were filmed by a high speed TV camera (Sony) from a side. From the obtained video film, the kinematical parameters, i. e. the angles of the hip, the knee and the ankle joints on the saggital plane, were obtained with a film motion analyzer (NAC).

Time differences of the three joint motions were observed both in the first and the second kicks. This movement is generally called "Whipping movement". In order to get a larger swimming velocity, the ankle motion of the last phase during kicking movement affects greatly the magnitude of the propulsive force. The extension speed of the ankle in that phase was much faster in MM than in the collegiate swimmers. The difference was clear in the second kick rather than first one. The changes of knee angle in the first and the second kicks showed almost same pattern in MM, although the angle change of the second kick was quite small compared to the first one in the collegiate swimmers. Therefore, it is important for the collegiate swimmer to improve the second kicking movement.

KEY WORDS : *Dolphin kick, Cinematography, 3 joint angles in lower limb*

緒 言

陸上での競技スポーツが主に重力との戦いであるのに対し、水泳競技ではいかに巧みに水の抵抗を利用するかによって成績決定がされる。いかに

えれば、競泳において泳速を増大させるためには、身体の体型よりもむしろ姿勢に影響される⁶⁾前方からの水抵抗を極力少なくし、その一方では四肢による後方への推進力をできるだけ大きくすることが必要である。しかしながら、水中の水抵抗と推

* 鹿屋体育大学 National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kagoshima, Japan.

進力とは表裏一体の関係にあり、両方を満足させるためには、スイミングフォームつまり体幹を含めた四肢を時間的・空間的に巧みに配列しなければならぬ。

近年、競泳種目の記録の向上は著しく、例えば200 m バタフライでは世界記録がここ20年間で15秒もの短縮が認められる。それはもちろんウェイトトレーニング等の導入による身体資源の向上にもよるが、むしろ泳動作それ自体の技術的な改善によるところが大きいと考えられる。従来、競泳選手のストローク技術については、経験的に検討され蓄積されてきた⁹⁾が、1960年以降のスポーツ科学の側面からの合理的動作の追及が、少なからず記録向上に貢献しているといえる。例えば、Counsilman (1968,¹⁾ 1977²⁾)あるいはMaglischo(1982⁵⁾)は推進力増大のためには、抗力と揚力のバランスが重要であるとし、その理論を実際の動作との関連で詳細に解説したことから、それが指導現場で応用さ

れ、より大きな記録の向上をもたらしたと考えられるのである。

そこで本研究では、競泳種目の一つであるバタフライに注目し、腕のプル動作は捨象し、体幹と脚を中心とした推進力を得るための合理的なキック動作を運動学的に検討することを目的とした。これに加え、技術的な進歩が大幅な世界記録の更新など大きな成功を取めた選手の動作を元に構築される場合が多いこともふまえて、技術的進歩の観点からも動作を考察する。

方 法

被検者：被検者は、女子バタフライの世界記録保持者である M. T. Meagher (以下 M M) と、大学でバタフライを専門とする競泳選手5名(男子3名, 女子2名)であった。被検者の身体的特徴及び自己最高記録は表1に示した。

動作の撮影と収録：被検者 M M のバタフライ

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Subject	Sex	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Best Record	
					100m	200m
M M	Female	22	173.0	64.0	57'93*	2'05'96*
A	Male	22	173.0	67.0	59'08	2'13'82
B	Male	19	168.6	62.3	1'01'55	2'18'99
C	Male	19	172.8	62.9	1'05'4	2'51'51
D	Female	19	158.7	63.1	1'10'73	2'39'01
E	Female	20	159.0	54.4	1'07'76	2'28'4

M M: Top swimmer in the world.

A~E: Collegiate swimmers.

*World Record

の動作に関しては、1985年パシフィック大会(東京)の200 m バタフライ決勝において150~200 m のストロークを水中カメラによって側方より撮影したビデオフィルム(60 f. p. s.)を対象にした。

大学5名の被検者の動作は、鹿屋体育大学室内プール(長さ25 m, 幅33 m, 深さ2~4 m)において、可動式のハイスピードビデオカメラ(sony社製: 180 f. p. s.)によって撮影したものを対象にした。その際の実験条件は、デッドスタートを用いたバタフライ泳(33 m を往復する66 m)であり、被検者は3種類のスピード(主観的に60%, 80%,

100%の泳速)で泳ぐように指示され、約10分の休憩を入れ、各スピードの試技は別々に行った。そして、スタート壁から5~28 m の範囲を撮影したわけである。同時に泳記録はストップウォッチで測定した。撮影風景は図1に示す通りである。

動作の分析: 分析の対象とした動作は泳速が一定で、かつ無呼吸時の1ストロークである。1ストロークとは、手の入水時の膝関節最大屈曲時を基準に次ストロークの同時点までとした(図3参照)。この1ストロークについて、モーションアナライザー(NAC社製, Sportias Model 200)を用

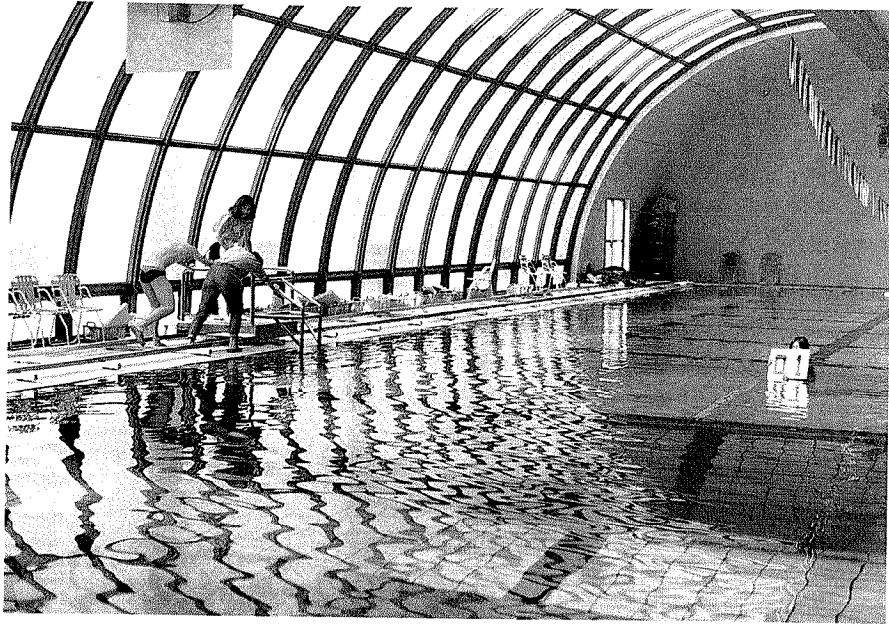


Fig. 1 The scene of the experiment.

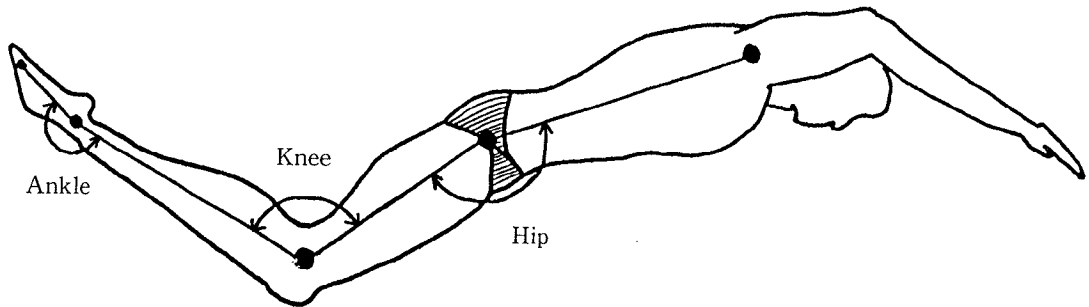


Fig. 2. Kinegram of the butterfly stroke.

い、下肢3関節の角度、具体的には体幹と大腿とのなす角度(Hip)、膝関節角度(Knee)、足関節角度(Ankle)を、被検者MMについては16 msecごとに、大学生5名については、11 msecごとに抽出した(図2)。データの収集過程におけるノイズを除去するために、生データを基に3点移動平均法および手描法によって平滑化した。

結果と考察

本研究における平均速度は表2に示す通りであ

る。男子の被検者の主観的に100%の泳速と指示した3回目の泳速度は1.57~1.71 m/sであり、これは各被検者の最高記録の96~98%に相当するものである。なお、MMの泳速度1.57 m/sは200 mの競技の後半の速度であることは付記しておく。

以下、トップスイマーと学生スイマーにおける各関節度変化の比較、そして各個人が泳速を変えた場合の角度の変化パターンについて検討していくことにする。

Table 2. Swimming velocity in the the experiment

Subject	1st trial (m/sec)	2nd trial (m/sec)	3rd trial (m/sec)
A	1.23 <60%>	1.55 <89%>	1.71 <98%>
B	1.37 <77%>	1.48 <86%>	1.62 <96%>
C	1.40 <82%>	1.53 <92%>	1.57 <96%>
D	1.10 <65%>	1.18 <74%>	—
E	1.30 <87%>	1.40 <95%>	—
MM	—	—	1.57

< > : percent of the maximal swimming velocity

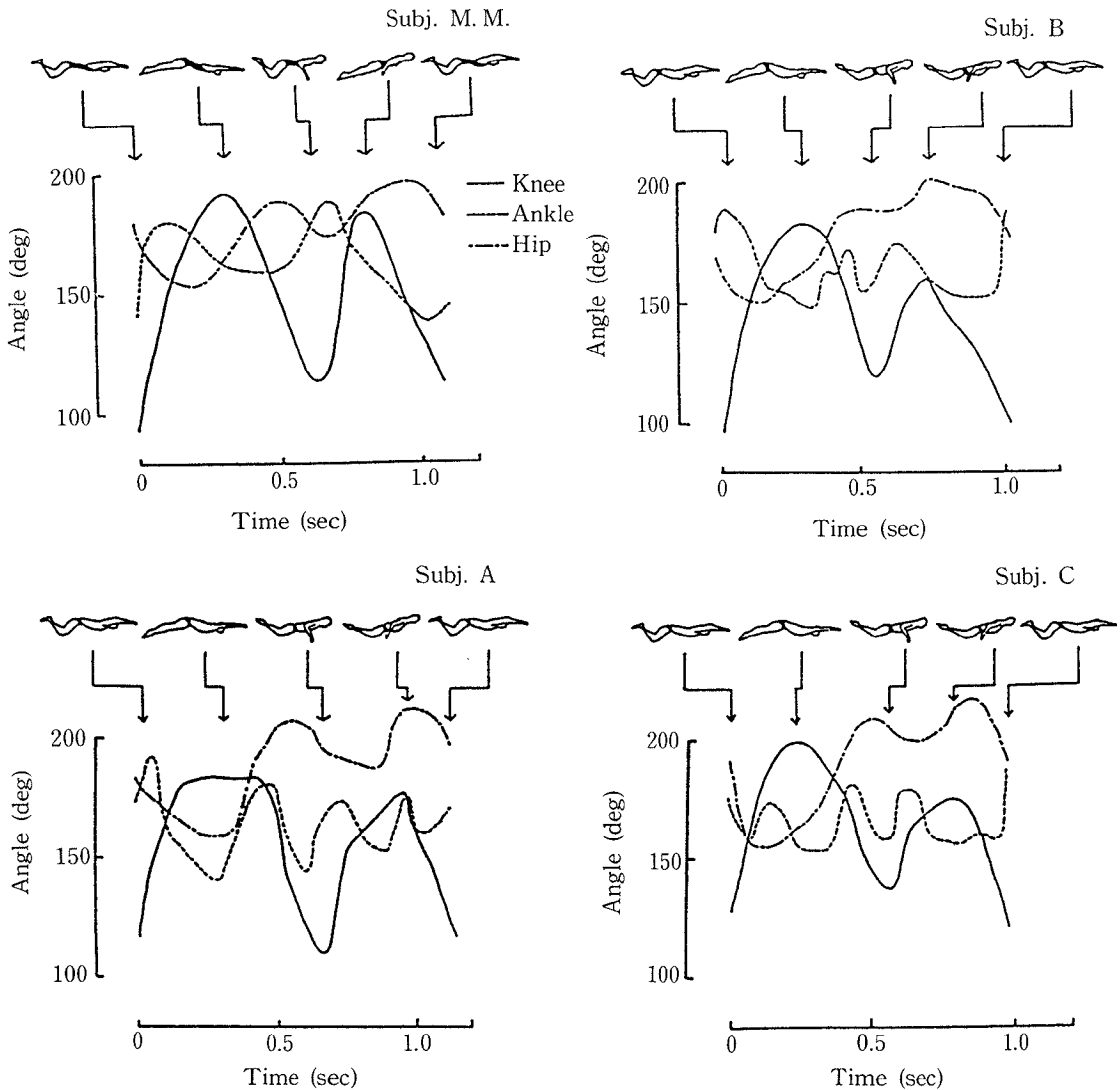


Fig. 3. Angle changes of 3 joints in lower limb during the butterfly stroke in M. M. and male collegiate swimmers.

1) 膝関節角度の変化パターンについて

図3は1ストロークの各関節角度(Knee, Hip, Ankle)変化と時間との関係を示したものである。図3のMMの動作でわかるように、第1, 第2両キックにおいて、腰、膝、脚関節の順に伸展される。第1キックにおける時相差は、それぞれ100 msec程度であるが、第2キックでは腰の伸展に続く膝の伸展が素速に行われ、その後やや時間をおいて足が伸展している。一方、学生スイマーはMMのような明確な時相差は認められない。

以下、各関節ごとに変化パターンを検討する。

まず膝関節のみに限ってみると、トップスイマーMMにおける第1キックと第2キックの膝関節角度変化は大変類似している。先行研究あるいは従来の指導技術書では第1キックは大きく、第2キックは浅く小さく打つこと、またこの第2キックは推進力に関与せず、腰の沈みを押さえるためだけに打たれるものであるとされていた^{3,7,9)}。しかし、最近のコーチクリニック等では第2キックの重要性が指摘されており⁴⁾、それは第1キックのキックアップと同等の強さで第2キックを行うべきものであるというものである。そして、図3にみられるような世界のトップスイマーにおいて、この動作が行われているという事実を見逃してはならない。

この動作は学生の動作(図3)と比較すると、その相違がより明確で、特に膝関節の最大伸展から最大屈曲までの局面、一般にキックアップ(けりあげ)と呼ばれているが、そこでの角速度が極めて大きいといえるのである。学生スイマーの膝関節各速度は高々200 deg/s前後か、あるいはそれ以下であるのに対し、MMの値は345 deg/sにも及んだ。

2) 腰関節(Hip)と膝関節(Knee)の角度変化と時相差

次に腰の角度変化についてMMと学生スイマーとを比べてみると、第2キックの膝関節伸展(けり下ろし)時にその相違が顕著に現れている。MMの第2キックは、その準備である膝関節が最大に屈曲する約80 msec前から腰が屈曲し始め、膝関

節が最大伸展する直前まで腰の屈曲は続けられている。これに対して、他の被検者の第2キックの際の腰はほとんど180度前後で一定であり変化が見られない。この学生スイマーの動作は、従来の積極的でない動作、つまり第2キックが腰が沈むのを押さえるためだけに用いられている、と見るのが妥当であろう。しかし、前方からの水の抵抗を少なくし、キックでなおかつ推進力を得るためには、下肢の各関節が順次、時間差をもって屈曲を繰り返すいわゆるムチ動作が必要である。その意味においてトップスイマーの腰の動きに対し、学生スイマーは、“滑らかさ”に欠けるといえるのである。

一方、腰と膝関節角度の可動範囲に適度な範囲が存在するものと思われる。トップスイマーを参考にすれば、それは第1キックで腰が150~180度の範囲、膝関節が110~190度の範囲であり、一方第2キックでは腰が170~190度、膝関節が110~180度の範囲である。これを学生の値(例えば、被検者Bについてみると第1キックで腰が145~190度の範囲、膝関節が95~175度の範囲、第2キックでは腰が170~190度、膝関節が100~150度の範囲)と比較すれば、動作の違いはより明らかなものとなる。

3) 足関節(Ankle)の変化

トップスイマーの足関節は、膝関節が最大に屈曲され、その後次第に伸展されるにしたがって最大に伸展されている(図3)。この膝・足関節の時相差は約80 msecであった。

また、次節で詳しく述べるが、MMの足関節角度と腰の動きはほぼ対照的な変化パターンを示し、特に第1キックのけりあげ(キックアップ)から第2キックのけり下ろし(キックダウン)までの局面において顕著である。この変化パターンは学生スイマーには明確には認められなかった(図3)。

4) 膝関節と腰および足関節の関係

図4, 5, 6, は膝関節と腰、そして足関節の関係を3次元で示したものである。まず、腰と膝関節角度の平面を見ると、MMは第1キックの腰が

第2キックに比べ、やや伸展しているものの、両キックともにはほぼ同様なリサージュを描く。一方、女子のEを除く総ての学生スイマーは第1と第2キックのリサージュ図形の面積の差が極めて大きい。また女子Eはリサージュがほぼ円に近い形になっており、腰と膝の角度変化の時相差がMMに対して、大きすぎるといえるのである。すなわち、MMが極めて効率のよいムチ運動をしていると仮定すれば、学生スイマーは、各関節の屈曲伸展のタイミングのずれからパワーがうまく脚の先端に伝わらず無駄なエネルギーを消費していると考えられるわけである。

さらに足関節を加えた3次元のリサージュをみても、MMが第1、第2キックともムチ動作の最後の局面(図中の矢印 $a \rightarrow b$, $a' \rightarrow b'$ の動作)で足関節を素早く伸展させ推進力を得ている。学生スイマーでは足関節の素早い伸展は低速度の動作のときは第1、第2キックの両方で認められるが、トップスピードに達したときには特に第2キックにおいて明確な素早い伸展がみられない。これは今回の被検者の学生スイマーの今後の課題であろう。

5) スピードの変化に伴う角度変化

図5、6の個人内で相対的にスピードを変化させた場合の角度変化をみると各被検者相互間ほど大きなフォームの差は認められないといえよう。しいてあげれば、低速になるほど大きな動きをしているということであろう。この結果から示唆されることは、技術改善のためにフォームを矯正する場合、低い泳速で精神的にも余裕のある状態でフォーム改善の意図的な働きかけを行い、徐々にスピードを増加させ、実際のレースペースに近づけるという方法を用いることが効果的であるといえるのである。

6) ドルフィンキックの有用性

トップスイマーのバタフライのキックでは、腰、膝、足関節が実にタイミングよくかつリズムカルに動かされる。それは、あたかもムチが打たれるがごとく、ある時相差をもって下肢3関節が屈曲、

伸展される。ここでは、このドルフィンキックの効用について実験結果をふまえて考察する。

ドルフィンキックの利点は次の3点に集約される。すなわち、揚力を得て身体を浮かすこと、推進力を得ること、そして腕と上体が起こした波を押さえる消波作用、である。まず、消波作用であるが、バタフライでは身体の上下動が大きいことから、かなり大きな波が生じる。この波は身体が前進するための大きな障害となる⁸⁾。波による抵抗の増大を極力おさえるためには、波と同様の周期で身体のムチ運動を行う必要がある。一般に波長 ℓ の波が立っている時の振動周期は、 $T = 2\pi\ell / g$ (g : 重力加速度)で表され、波長によって振動周期が決定される。この周期に合わせて身体のムチ運動を行えば、水抵抗が少なくおさえられるが、少しでもずれると身体に極めて大きな抵抗が生じることになる。したがって、下肢3関節の屈伸のタイミングが重要であり、図4のリサージュ図形で明らかなように、MMの動作が波の周期と一致しているとすれば、MMに対する学生スイマーの3関節のタイミングのずれは、キック動作自体が効果的な消波作用を行うというよりむしろ水抵抗を増大させる結果になっているとも考えられるのである。

次に、キックによる身体の上昇と推進力の獲得についてであるが、脚のムチ動作によって大きな推進力を得る場合、各関節の伸展を腰から徐々に行うことによって先端エネルギーを伝える必要がある。つまり、最も重要な局面は最終的な先端の動きの大きさと速さ、すなわち、足関節の伸展の強さが推進力を決定づけるといえる。いいかえれば、腰と膝の屈伸は、足部を強く打つための序曲であるといつてよい。この観点から、MMの最終の足関節伸展動作をみると、伸展速度が極めて大きく、推進力増大に効果的な動作であるといえる。これに対して、学生スイマーの第2キックの足部の動きは動作自体が小さく、効果的な動きとはいえない。

さらにくわえれば、大きな推進力を得るためには、第2キックも第1キック同様大きく素速い動きをしたほうが効果的であることは自明であり、

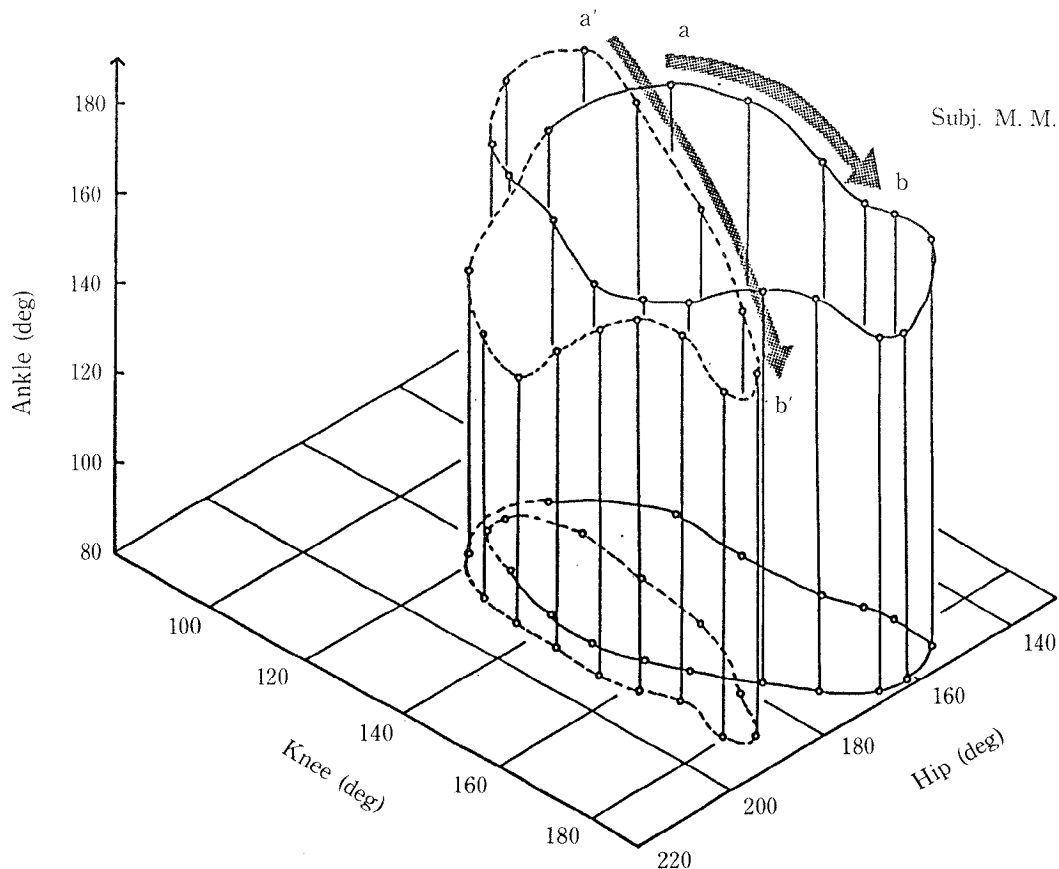


Fig. 4. Angle relation among 3 joints during the butterfly stroke in M. M.

その意味において、第2キックを揚力を得るためだけに用いるという従来の技術書は消極的すぎると言えよう。要は各関節伸展のタイミングの問題なのであって、それさえ満足されれば、第2キックも十分に推進力を得るために用いられると考えられる。したがって、学生スイマーの小さな第2キックは改善の余地が十分あり、第2キックの技術向上のみでかなりの泳速の増大が推定できるのである。

要 約

本研究の目的は、推進力を得るための合理的なドルフィンキックの動作を運動学的に検討することである。

本研究の被検者は現在の女子バタフライの世界記録保持者であるMMと大学生スイマー5名であった。各被検者のバタフライ動作を水中側方より高速度ビデオ撮影し、下肢3関節の角度変化をモーションアナライザーによって分析した。

その結果は以下に示す通りである。

1. トップスイマーの第1キックと第2キックは膝関節、腰関節ともに可動範囲が大きく、非常に類似した変化パターンを示した。一方、学生スイマーは第1キックに比べ第2キックが極めて小さいことが特徴的であった。

2. ドルフィンキック動作中の膝関節、腰関節、足関節の角度変化にはトップスイマーでは約80 msecの時相差があり、腰から開始される動きが膝に伝

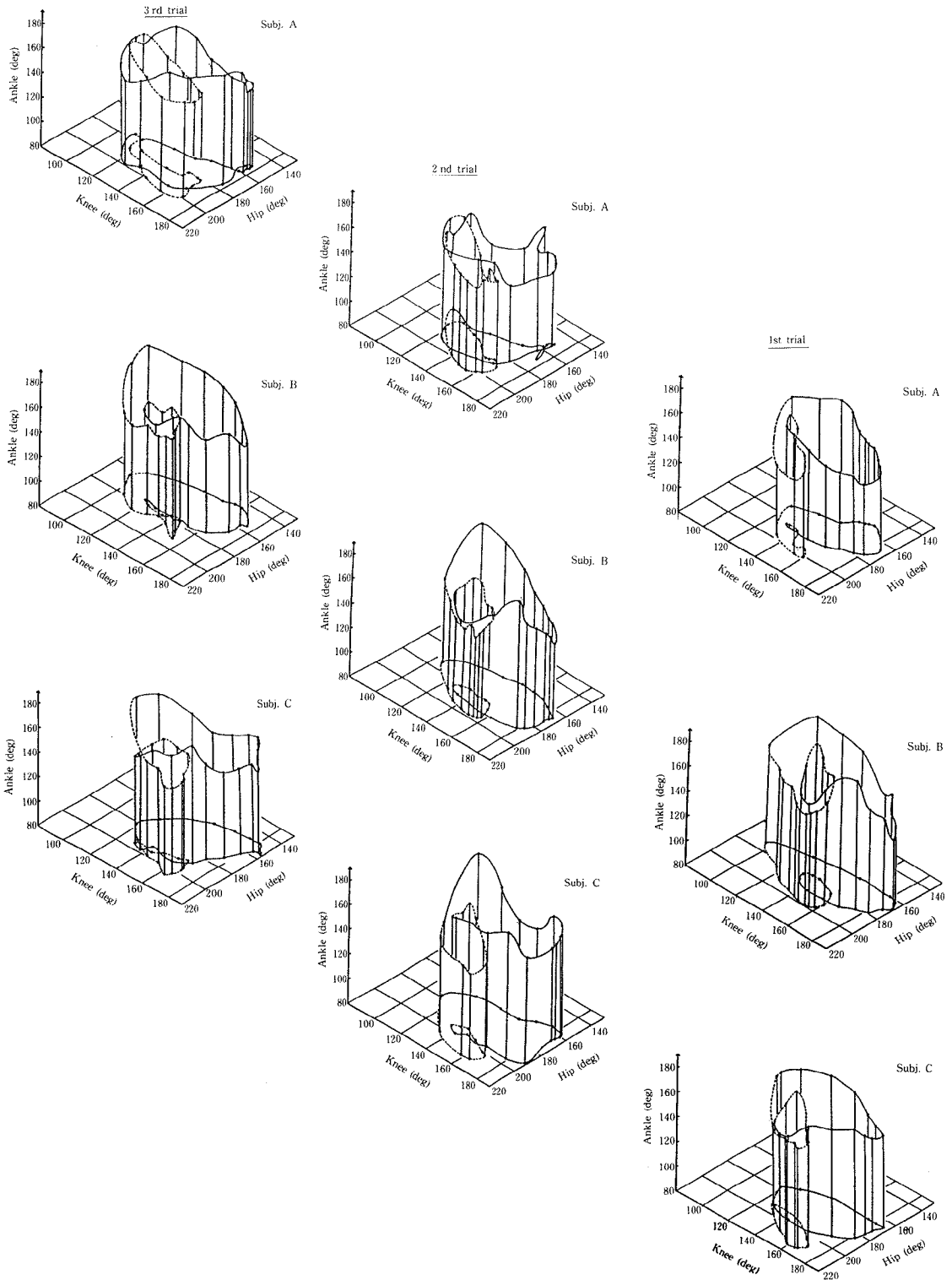


Fig. 5. Angle relation among 3 joints during the butterfly stroke in male collegiate swimmers.

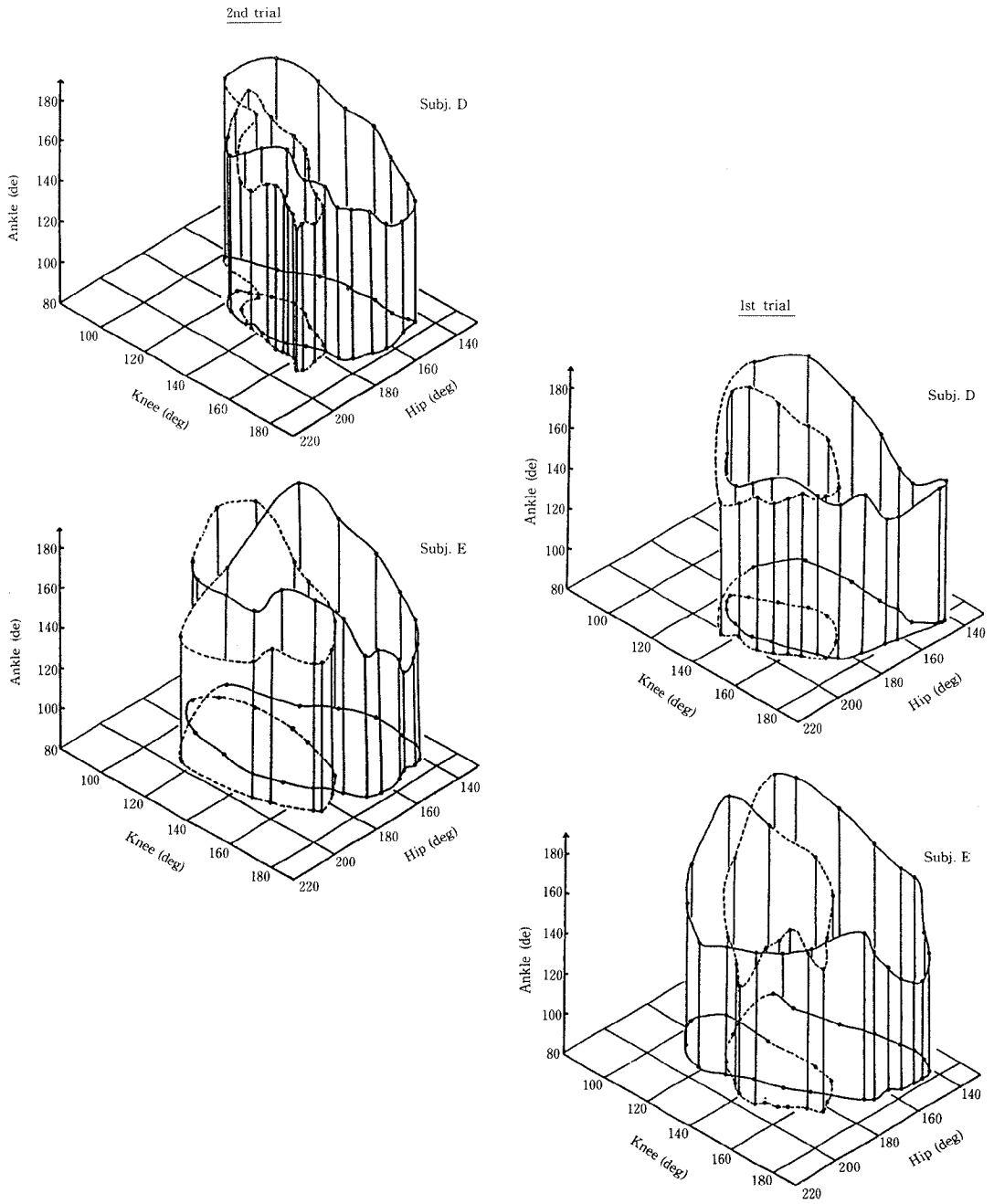


Fig.6. Angle relation among 3 joints during the butterfly stroke in female collegiate swimmers.

達し、最後に足に伝わるといういわゆる『ムチ運動』となっていた。トップスイマーと学生スイマーでは各関節の時相差が異なっていた。

3. 下肢3関節の角度変化パターンは被検者間では異なっていたが、個人内では相対的にスピードを変化させた場合、差がほとんど認められなかった。この結果から、フォームを矯正する場合、低いスピードから行い、徐々にスピードを増加させ、実際のレースペースに近づけるという方法を用いることが効果的であるということが示唆された。

参考文献

- 1) Counsilman, J.E.: The science of swimming. Prentice-Hall, Inc. NJ, 1968.
- 2) Counsilman, J.E.: Competitive swimming manual for coaches and swimmers. Counsilman Co. Inc. IN, 1977.
- 3) コルフィン C.: バタフライの初心者指導法—水泳研究, 2 (3), 60-63, 1977.
- 4) Lawrence L.: バタフライのトレーニング—ASCA Magazing, 2: 1-7, 1987
- 5) Maglischo, E.W.: Swimming faster. Mayfield Pub. Co., CA, 1982.
- 6) Miyashita, M. and T. Tsunoda. Water resistance in relation to body size. In: Swimming Medicine IV. Edited by B. Ericksson and B. Furberg. Univ. Park Press, 1978. pp.395-401.
- 7) スネーリング D.: バタフライの技術と訓練—水泳研究, 1 (9), 1976
- 8) Takamoto, M., H. Ohmichi, and M. Miyashita. Wave height in relation to swimming velocity and proficiency in front crawl stroke. In: Biomechanics IX-B. D. V. Winter, R. W. Norman, R. P. Wells, K. C. Hayes, and A. E. Patle., Human Kinetics, Campaign. 1985. pp.486-491.
- 9) 鶴沢 勝雄: 泳法と技術—水泳コーチテキスト第7巻, 日本スイミングクラブコーチ学校, 1973. pp 148-176.