

氏名(本籍)	すぎもとせいじ (大阪府)
学位の種類	博士(体育科学)
学位記番号	博甲第4802号
学位授与年月日	平成20年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	人間総合科学研究科
学位論文題目	水中ドルフィンキックにおけるダイナミクスのシミュレーション解析

主査	筑波大学教授	医学博士	野村武男
副査	筑波大学准教授	博士(工学)	高木英樹
副査	筑波大学教授	博士(学術)	藤井範久
副査	筑波大学教授	工学博士	松内一雄

## 論文の内容の要旨

### (目的)

水中で身体を動かす水泳では、身体各部位に様々な流体力を受け、それら全ての流体力と身体の慣性力によって身体全体の運動が決定される。ゆえに、水泳時のダイナミクスを解明することで推進メカニズムを把握し、パフォーマンス向上への具体的な示唆を提示するには、水泳時に身体各部位に働く流体力を推定しなければならない。しかし、水中で四肢を動かし、形状を変えながら推進する場合の流体力を正確に測定するには、運動中の人体全表面の圧力分布および摩擦分布を明らかにする必要がある、それらを泳ぎに影響を与えないで測定することはきわめて困難であるため(高木, 1998)、いまだ定量法が確立されていないのが現状である。そのため、水泳を対象とした力学的研究では分析対象が身体の一部に限定されているものが多く、全身を対象としたものでも全身各部位に働く流体力を詳細に分析したものはない。

水泳時に全身各部位に働く非定常流体力を考慮し、全身のダイナミクスを詳細に表現することができるシミュレーションモデルとして、中島ら(2005)によって提案された水泳人体シミュレーションモデル“SWUM (SWimming hUman Model)”がある。このモデルを用いることによって、標準的な6ビートのクロール泳の推進力や回転モーメントなどの力学的考察がされているが、入力データで用いられたのは20歳から29歳の一般的な日本人男性の体型と、インターネットで公開されている標準的な6ビートクロール泳の映像から目測で得た泳動作であったため、実際に泳いでいる泳者から算出した入力データによるシミュレーションの評価の必要性が残されていた。

本研究は、水泳時のダイナミクスをシミュレーション上で再現する手法を確立することで、水泳時の推進メカニズムを明らかにし、パフォーマンス向上に重要な事項をシミュレーション解析によって定量的に示すことを目的とした。研究対象は、動作が2次元的で比較的単純な水中ドルフィンキックとした。水中ドルフィンキックとは、競泳競技のスタートやターン後、水中から浮き上がって泳ぎ始めるまでの間に用いられる泳法である。

### (対象と方法)

上記の目的を達成するために、以下の研究課題を設定した。

### 【研究課題Ⅰ】 シミュレーションモデル上でのダイナミクスの再現

水泳人体シミュレーションモデル“SWUM”上で水中ドルフィンキックのダイナミクスを再現することを目的とし、シミュレーションモデルの評価と応用を行う。

#### (1) シミュレーションモデルの評価

シミュレーション用入力データを実測し、実測入力データを用いたシミュレーションで算出した泳速度と実測した泳速度を比較することで、シミュレーション上で水中ドルフィンキックのダイナミクスが再現されているか否かの評価を行う。

#### (2) 流体力係数の同定

流体力算出に用いられている流体力係数を入力データである泳者の形態と泳動作に適した値に同定し、シミュレーション上で水中ドルフィンキックのダイナミクスを再現する。

### 【研究課題Ⅱ】 水中ドルフィンキックの推進メカニズムの解析

実測した泳者の形態と泳動作および入力データに適した流体力係数を用い、シミュレーション解析によって水中ドルフィンキックで発揮される推進力と関節トルクの分析を行い、推進メカニズムを明らかにする。

### 【研究課題Ⅲ】 泳動作変化によるパフォーマンス変化の解析

水中ドルフィンキックの泳動作を変化させたシミュレーションによってパフォーマンス変化を解析し、パフォーマンス向上に重要な事項を定量的に示す。

#### (1) 足関節底屈角度とパフォーマンスの関係

水中ドルフィンキック泳中の足関節底屈角度の変化に伴う泳速度、推進力、関節トルクの変化をシミュレーションによって解析し、泳中の足関節底屈角度と水中ドルフィンキックのパフォーマンスとの関係を明らかにする。

#### (2) うねり動作の振幅とパフォーマンスの関係

水中ドルフィンキック泳中のうねり動作の振幅変化に伴う泳速度、推進力、関節トルクの変化をシミュレーションによって解析し、泳中のうねり動作の振幅と水中ドルフィンキックのパフォーマンスとの関係を明らかにする。

#### (結果)

##### (1) シミュレーションモデルの評価 (研究課題Ⅰ-1)

研究課題Ⅰ-1では、実測した入力データを用いたシミュレーションで算出した泳速度と動作分析で求めた泳速度とを比較し、シミュレーション上で水中ドルフィンキックのダイナミクスが再現されているか否かの評価を行うことを目的とした。その結果、流体力の算出に用いられている流体力係数を入力した泳者の形態と泳動作の組み合わせに応じて同定することにより、定量的にシミュレーション上で水中ドルフィンキックのダイナミクスを再現できる可能性が示された。

##### (2) 流体力係数の同定 (研究課題Ⅰ-2)

研究課題Ⅰ-2では、入力データに応じて流体力係数を同定し、シミュレーション上で水中ドルフィンキックのダイナミクスを再現することを目的とした。その結果、入力データに応じた流体力係数を同定することで水中ドルフィンキックのダイナミクスがある程度シミュレーション上で再現されることが示され、シミュレーション上での水中ドルフィンキックのダイナミクス再現手法が確立された。

##### (3) 水中ドルフィンキックの推進メカニズムの解析 (研究課題Ⅱ)

研究課題Ⅱでは、研究課題Ⅰで再現された水中ドルフィンキックのダイナミクスをもとに身体各部位で発揮される推進力と関節トルクの分析を行い、推進メカニズムを明らかにすることを目的とした。その結果、水中ドルフィンキックの推進力は主に足部によって発揮され、足部での大きな推進力発揮には、下肢だけではなく体幹でのトルク発揮も重要であることが定量的に明らかとなった。また、水中ドルフィンキックを最

も使用するバタフライ泳者で腰痛が起りやすい要因の一つとして、体幹による大きな関節トルクの周期的な発揮が挙げられ、推進力発揮と障害予防の両視点から体幹筋群の重要性が示された。

#### (4) 足関節底屈角度とパフォーマンスの関係 (研究課題Ⅲ-1)

研究課題Ⅲ-1では、水中ドルフィンキック泳中の足関節底屈角度の変化に伴う泳速度、推進力、関節トルクの変化をシミュレーションによって解析し、泳中の足関節底屈角度と水中ドルフィンキックのパフォーマンスとの関係を明らかにすることを目的とした。その結果、泳中の足関節底屈角度が増加することで泳者が通常以上の力を発揮することなく足部のみで発揮される推進力が増加し、結果として水中ドルフィンキックの泳速度は向上することが定量的に明らかとなった。さらに、足関節底屈方向の柔軟性は水中ドルフィンキックのパフォーマンスを決定付ける要因ではないが、パフォーマンスにおいて重要な要素の一つであることが示された。

#### (5) うねり動作の振幅とパフォーマンスの関係 (研究課題Ⅲ-2)

研究課題Ⅲ-2では、水中ドルフィンキック泳中のうねり動作の振幅の変化に伴う泳速度、推進力、関節トルクの変化をシミュレーションによって解析し、泳中のうねり動作の振幅と水中ドルフィンキックのパフォーマンスとの関係を明らかにすることを目的とした。その結果、泳中のうねり動作の振幅を変化させることで通常以上の力を発揮することなく水中ドルフィンキックの泳速度が変化することが定量的に示され、水中ドルフィンキックにおけるうねり動作の振幅は重要であること、振幅次第でパフォーマンス向上を望めることが明らかとなった。さらに、足関節底屈方向の柔軟性向上に伴い、泳中のうねり動作の振幅を減少させることによって、より水中ドルフィンキックのパフォーマンスが向上することが定量的に明らかとなった。また、足関節底屈方向の柔軟性が高いものほどうねり動作の振幅を小さくさせ、柔軟性の低いものほど振幅を大きくさせることで水中ドルフィンキックのパフォーマンス向上が期待できることが示された。

#### (考察)

本研究では、水中ドルフィンキックのダイナミクスをシミュレーション上で再現する手法を確立することで、水中ドルフィンキックの推進メカニズムを明らかにし、パフォーマンス向上に重要な事項をシミュレーション解析によって定量的に示した。以下に、本研究から得られた主な知見をまとめた。

- (1) SWUMに実測した泳者の形態と泳動作を入力し、入力データに適した流体力係数を同定することで、シミュレーション上で水中ドルフィンキックのダイナミクスをある程度再現できる (研究課題Ⅰ)。
- (2) 水中ドルフィンキックの推進力は主に足部によって発揮され、足部での大きな推進力発揮には、下肢だけではなく体幹でのトルク発揮も重要である (研究課題Ⅱ)。
- (3) 水中ドルフィンキックを最も使用するバタフライ泳者で腰痛が起りやすい要因の一つとして、体幹による大きな関節トルクの周期的な発揮が挙げられたため、推進力発揮と障害予防の両視点から体幹筋群は重要である (研究課題Ⅱ)。
- (4) 泳中の足関節底屈角度が増加することで通常以上の力を発揮することなく足部のみで発揮される推進力が増加し、結果として水中ドルフィンキックの泳速度は向上するため、足関節底屈方向の柔軟性は水中ドルフィンキックのパフォーマンスを決定付ける要因ではないが、パフォーマンスにおいて重要な要素の一つである (研究課題Ⅲ-1)。
- (5) 泳中のうねり動作の振幅を変化することで通常以上の力を発揮することなく水中ドルフィンキックの泳速度は変化することから、水中ドルフィンキックにおけるうねり動作の振幅はパフォーマンスにおいて重要である (研究課題Ⅲ-2)。
- (6) 足関節底屈方向の柔軟性の向上に伴って泳中のうねり動作の振幅を減少させることでより水中ドルフィンキックのパフォーマンスは向上する (研究課題Ⅲ-2)。
- (7) 足関節底屈方向の柔軟性が高いものほど泳中のうねり動作の振幅を小さくさせ、柔軟性が低いものほど

振幅を大きくさせることで水中ドルフィンキックのパフォーマンス向上が期待できる（研究課題Ⅲ－2）。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

学位論文審査委員会において審査委員全員出席のもとに最終試験を行い、論文について説明をもとめ、関連事項について質疑応答を行った結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（体育科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。