

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 25 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560360

研究課題名(和文)身体形状を正確に再構築する方法論を用いた泳動作解析：呼吸法の影響

研究課題名(英文)Analysis of swimming techniques with an accurate reconstruction of body surface dimensions

研究代表者

矢内 利政 (Yanai, Toshimasa)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：50387619

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、遊泳中の選手の身体形状を正確に再構築するシステムを開発することにより、泳動作中の呼吸様式の違いによる身体形状変化が姿勢維持メカニズムや遊泳効率に及ぼす影響を分析することであった。延長期間を含めた3年間で、遊泳中の選手から計測した骨格運動に同選手の身体形状メッシュモデルをフィッティングさせることにより、刻一刻と変化する遊泳中の身体形状を高い時間分解能で再構築することに成功した。しかしながら、呼吸様式の違いに起因する腹部形状の差異を十分な精度で定量化することができなかったため、呼吸様式によって最も大きく変化すると推測された「浮力が脚を沈める効果」を正確に算出することはできなかった。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this study were to develop a method for reconstructing the body surface dimensions of human body in motion, particularly during the performance of swimming, and to determine the influence of adopting different breathing techniques to the mechanism of maintaining the horizontal body alignment and to the swimming efficiency. We have succeeded in developing such a method and confirmed its validity in reconstructing overall shape of the entire body in various motions -- repeated simple motions performed on dryland as well as front-crawl swimming. However, we failed to reach a satisfactory result in accurately reconstructing the changing patterns of abdominal shape of swimmers in response to adapting different breathing techniques (abdominal breathing maneuver and chest breathing maneuver) during the performance of front-crawl swimming. We are determined to continue working on this problem to make the system fully operational so as to achieve the original goal.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：身体形状 水泳 呼吸法 流体力

1. 研究開始当初の背景

水泳は形が特定されない流体の中で行われるため、身体表面に接触して流れる流体の影響により、泳者の身体各部位、各表面には位置と時間に依存する力系が作用する。遊泳中には、ストローク動作による身体表面の形状変化に応じて身体周辺の水の流れが変化し続けるため、流体力の大きさも方向も一定になることなく変化し続ける。このように複雑な環境条件で獲得できる推進力や抵抗を正確に分析するためには、泳者の身体を線分モデルや筒モデル(図1)の連鎖として単純

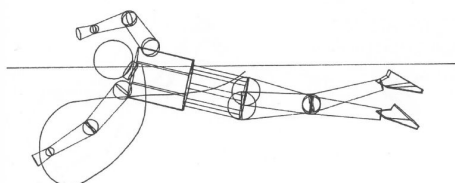


図1：筒モデルとしての身体

化したものではなく、各個人の身体表面の形状を正確に再現した身体モデルを用いて分析する必要がある。

これまでのスポーツ動作分析においては、高速度カメラ等で収集されたビデオ画像に記録された選手の身体を比較的形状の変化しない部位に分割し、それら一つひとつを剛体(変形しない塊)とみなして線分でモデル化したものや筒でモデル化したものが主として用いられてきた。スポーツ動作における骨格運動を計測する方法を開発することにより、我々は『身体部位の連動としての身体運動』から『骨格の連動としての身体運動(図2)』へ研究テーマを移行することに成功し

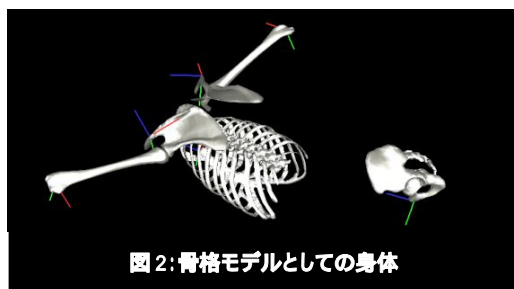


図2：骨格モデルとしての身体

たが、選手個人の身体の形状的特徴を反映させるまでには至っていない。

水泳において重要な流体力の分析には、身体形状、とりわけ身体表面の形状を正確に反映したモデルを用いる必要がある。そこで、この問題を解決するための方策として、我々が培ってきた骨格動作解析法を用いて正確に定量化した泳者の身体・骨格運動に、光学式3次元身体形状計測法(three-dimensional photonic image scanning; 以下3DPS)を用いて定量化した身体表面座標データを数学的にフィッティングすることにより、スポーツパフォーマンス中に刻一刻と変化する身体形状の1コマ1コマを正確に再構築することを計画した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、遊泳中の選手の身体形状を高い時間分解能で正確に再構築するシステムを開発すること、及びこのシステムを活用して泳動作中の姿勢維持様式や呼吸様式の違いによる身体形状の変化を定量化し、それらが流体力(推進力、抵抗、浮力)に及ぼす影響を分析することにより、競泳技術を上昇するための方策を検討することとした。

3. 研究の方法

本研究の目的と達成するため、以下に示す4つのステップを実施すべく計画をたてた。

解剖学的肢位で静止する被験者を対象に3DPS法を用いて収集した身体表面座標データと骨格運動計測システムを用いて収集した骨格データとをフィッティングさせる方法を構築する。

単純運動を行う被験者から骨格運動計測システムを用いて収集した骨格運動データに同一被験者の身体表面座標データをフィットさせ、その結果得られた運動中の身体形状の妥当性を検証する。

泳動作分析システムと骨格運動計測システムを用いて遊泳中の被験者から収集した身体・骨格運動データに身体表面座標をフィットさせ、その妥当性を検証する。

2種類の呼吸様式法(腹式呼吸・胸式呼吸)を習得させた水泳選手にクロール泳を行わせ、フィッティング法により遊泳中の身体形状を再構築する。このデータを用いて、泳者に作用する流体力を分析し、呼吸様式が泳速、泳効率に及ぼす影響を検討する。

後に説明するが、研究期間内にステップ までは完了したが、呼吸様式の違いに起因する腹部形状の差異を十分な精度で代言性高く定量化するまでに至らなかったため、呼吸様式によって最も大きく変化すると推測された「浮力が脚を沈める効果(浮力が泳者の身体を回転させる効果)」や呼吸様式と泳速度、泳効率との関連を分析するという最終目的を達成することは今後の課題となった。この問題を解決すべく、腹部形状の推定精度を高める方法論に改良を加えていく計画である。

ステップ : 3DPS法によって得られる身体表面座標データと磁場式動作解析法によって得られる骨格の動作データをフィッティングする方法論を開発した。まず、解剖学的肢位をとる被験者を対象に3DPS法によって身体表面形状をスキャンし、身体表面形状を表すメッシュデータを計測した。計測時には、被験者の胸郭、肩甲骨、上腕骨に小型の磁気センサーを貼付することで、骨格の位置座標および方位を同時に計測した。また、19点の骨ランドマークに貼付した直径5mmのマーカの位置座標もスキャンした身体表面メッシュデータからモデリングソフト(Metasequoia、株式会社テトラフェイス、Japan)を用いて抽出した。この骨ランドマ

一カ所の位置座標から各骨の位置と方位を表す移動座標を定義し、磁気センサで計測した近位セグメントの骨座標系との相対的な位置と方位に変換した。身体表面メッシュデータにより計測した骨ランドマークの座標と電磁ゴニオメータで計測した骨ランドマークの座標を比較し、その位置座標の誤差が5mm以下になるまでメッシュデータ上での計測を繰り返した。

ステップ：単純運動を行う被験者の身体形状を構築し、その妥当性を検証した。運動中の身体表面メッシュモデルの構築は3DアニメーションソフトMAYA(Autodesk Inc., 米国)を用いて行った。MAYAによるメッシュモデル構築は、初期姿勢のメッシュデータに合わせて駆動用の骨格を配置し、その骨格を回転、移動させることで行われる。本研究では胴体部の駆動用骨格として、胸郭 肩甲骨間、胸郭 腹部間、腹部 骨盤間、肩甲骨 上腕骨間に関節を有する骨格を定義した。また胴体以外のセグメントについては一般的な骨格を定義した。駆動用骨格の各関節に電磁ゴニオメータで計測された関節の位置と角度を入力することにより、身体表面メッシュを構築した。また、腹部の関節の位置と方位は胸郭座標系と骨盤座標系の位置と方位を用いた関数によって決定した。

この方法論の妥当性を検証するため、複数名の被験者それぞれに体幹の形状が大きく変化するような運動を行わせた。身体表面メッシュにより定義された頭部、胴体部、上腕、前腕、大腿、下腿、足部の各セグメントに身体密度を持たせることで重心位置を推定した。また、運動中の様子を3台のビデオカメラで撮影することにより、ビデオ映像から抽出した被験者の三次元座標に剛体筒モデルをフィットさせるといった従来の方法により身体重心位置を算出した。また、被験者に作用する地面反力を計測することにより、その積分値から身体重心の変位を算出し、これを真値として妥当性を検証した。

ステップ：この方法論を水中で運動する被験者に用いることにより、遊泳中の選手の身体形状を高い時間分解能で正確に再構築するシステムを開発した。水中使用のために特別に防水処理を行った磁場式動作解析装置(図3)を用いて240Hzで泳動作の計測し、

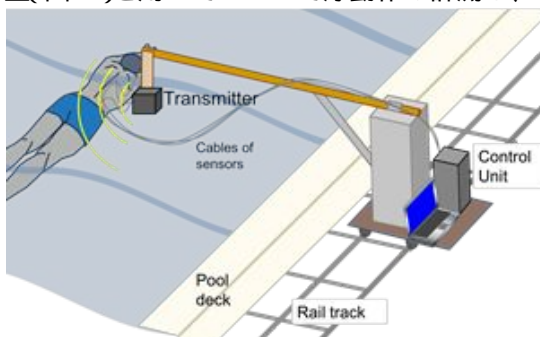


図3：水泳用磁場式動作解析装置

それに同選手の身体形状座標データをフィ

ッティングさせることにより、刻一刻と変化する遊泳中の身体形状を高い時間分解能で再構築した。また、泳動作中の姿勢維持様式や呼吸様式の違いによる身体形状の変化を定量化し、それらが流体力に及ぼす影響を分析することを試みた。

4. 研究成果

骨格の動作に基づいた身体形状モデルの定量化が可能となり、形状の自動再現が難しい肩、腋下部、腰部においても、自然な身体形状の再現が可能となった。定量化した身体形状モデルを実際のビデオカメラ映像と比較したところ、皮膚動揺によって体表面に貼付したセンサーと骨との相対的な位置関係が変化した場合、定量化された身体形状モデルに誤差を含むケースがみられた。

身体重心位置の妥当性検証では、真値である重心変位($9.3 \pm 0.8\text{cm}$)に対し、 $7.3 \pm 1.0\text{cm}$ という、よく一致した値が得られた。この結果は、従来の剛体筒モデルを用いた3Dビデオ解析法による算出値($4.1 \pm 1.4\text{cm}$)を大きく上回る精度であった。また、運動を通じた平均測定誤差は $1.9 \pm 0.4\text{cm}$ であり、剛体筒モデルによる値($5.1 \pm 2.1\text{cm}$)と比べて遥かに小さかった。これらの結果より、新しく開発した手法は胴体が大きく変形する運動においても正確に重心位置を推定できることが示された。

遊泳中の被験者を再構築した身体形状は呼吸様式の違いに伴う骨格姿勢変化の特徴を反映することが確認された(図4)。したがって、本研究で開発した方法により定量化

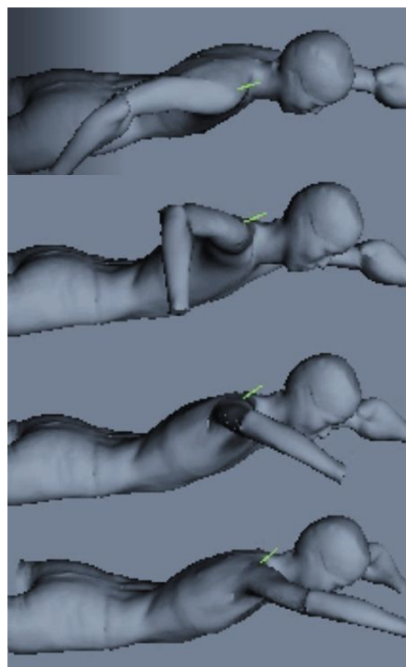


図4：再構築した遊泳中被験者の身体形状

された身体表面形状は、遊泳中の選手に作用する水力抵抗や揚力の分析を行うに足る精度を有するものと考えられる。しかしながら、今後の課題も浮き彫りになった。問題は、呼吸様式の違いに起因する腹部形状の差異を

十分な精度で定量化することができなかつたため、呼吸様式によって最も大きく変化すると推測された「浮力が脚を沈める効果(浮力が泳者の身体を回転させる効果)」や呼吸様式と泳速度、泳効率との関連を分析するという最終目的を正確に算出することができなかつたことである。この問題を解決するには、遊泳中の腹部の周径囲を実測する等により、腹部形状の推定精度を高める方法論を構築することが求められる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

丸山祐丞、矢内利政 胴体の変形を考慮した身体モデル構築：身体重心位置の推定に関する妥当性検証．人間工学 52(supplement), 2016, S256-257

DOI: doi.org/10.5100/jje.52.S256

〔学会発表〕(計 1 件)

丸山祐丞、矢内利政 胴体の変形を考慮した身体モデル構築：身体重心位置の推定に関する妥当性検証．日本人間工学会第 57 大会．三重看護大学 2016.6.25

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢内 利政 (YANAI, Toshimasa)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：50387619