

2020年8月7日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
学校法人国際武道大学

水球選手は巧みな足さばきで水の渦を利用している
— 立ち泳ぎに独特な推進力生成メカニズムを解明 —

研究成果のポイント

1. 水中での動作により生み出される力を分析するための新手法を用いて、立ち泳ぎ(巻き足)における上向きの推進力生成メカニズムを解明しました。
2. 分析の結果、水球選手は巻き足において、単に水を勢いよく蹴った反力で浮上しているのではなく、足の角度やキックの方向を巧みに調整して、上向きの推進力を生んでいることが明らかとなりました。
3. 巻き足において効果的に推進力を生み出すためには、足部の周りに生じる非定常な水の流れ(いわゆる渦などの乱流)を上手く利用することが鍵になると考えられます。

国立大学法人筑波大学体育系 高木英樹教授、学校法人国際武道大学体育学部体育学科 川合英介助教らの研究グループは、圧力分布分析と3次元動作分析の併用により、立ち泳ぎ(巻き足)における上向きの推進力生成メカニズムの解明に取り組みました。

水球選手にとって巻き足は、身体を浮かせるための推進力を生み出す必須の技術であり、それによって水中で他の選手に乘られても沈まず、様々なプレーを可能にしています。しかしながら、これまで巻き足によって生み出される推進力を直接分析する手立てがなく、十分な研究が行われてきませんでした。本研究では、近年本研究グループが開発した圧力分布分析(泳者の身体部位表面に圧力を計測する小型のセンサを取り付け、計測された圧力値から生じた力を推定する手法)を水球選手の巻き足に応用し、さらに動作分析と併用することによって推進力の生成メカニズムに初めて迫りました。

水中で身体部位に生じる力は、その部位表面にかかる圧力の高い側から低い側に向かって作用し、さらにその高低差が大きくなるほど増大します。したがって巻き足の場合、推進力は足底側にかかる圧力が足の甲(足背)側にかかる圧力よりも高く、かつ、その差が大きくなるほど増大することになります。分析の結果、興味深いことに、巻き足中の足底・足背間の圧力差は、足底側にかかる圧力が増加することによって増大しているのではなく、足背側の圧力が低下することによって増大していることが判明しました。さらに、推進力は足部がそのピーク速度を越え、減速し始めた時に最大に達していました。これらの結果は、従来の水泳における推進の定説(手足で水を押した作用・反作用で推進力が得られる、速度の2乗に比例して推進力が増加する)だけでは説明することができないものであり、動作中の選手の周りに生じる非定常な水の流れ(いわゆる渦などの乱流)が上向きの推進力の生成に大きく影響している可能性を示唆しています。巻き足において効果的に推進力を生み出すためには、ただ勢い任せに水を蹴るのではなく、足部の角度やキックの方向を巧みに調整して非定常な水の流れを上手く利用することが鍵となりそうです。

本研究成果は、2020年8月4日付で英国の国際科学誌 Sports Biomechanics にオンライン先行公開されました。

研究の背景

巻き足は、膝関節を中心に左右の下腿を交互に回旋(左脚は時計回り、右脚は反時計回り)させることで、身体を支持するための推進力を生み出す立ち泳ぎの技術です(図1)。水球選手にとって、この巻き足による上向きの推進力の生成は、水中での様々なプレー(パスやシュート、ブロックなど)を行う上で必要不可欠であり、実際の指導現場においても、そのトレーニングに多くの時間が費やされています。しかしながら、これまで巻き足により生み出される推進力を分析しようとする研究はほとんど行われてきませんでした。これは、巻き足における力生成の媒体が流体(水)であり、その非定常性を考慮して直接的に力を分析することが困難であることに起因します。そのような中で近年、本研究グループは競泳の研究において、圧力分布分析(泳者の身体部位表面に圧力を計測する小型のセンサを取り付け、計測された圧力値から生じた力を推定する手法)を独自に開発しました。そこで今回、この技術を水球の巻き足動作に応用し、水の非定常性を考慮しつつ巻き足中に生じる推進力を分析することを試みました。

研究内容と成果

本研究では、圧力分布分析と3次元動作分析の併用により、巻き足における上向きの推進力生成メカニズムの解明に取り組みました。実験は、日本代表候補を含む大学水球上位チームに所属する男子水球選手を対象に、筑波大学屋内プールにて行われました。その結果、興味深いことに、巻き足動作中の推進力増大の要因となる足底・足背間の圧力差は、足底側にかかる圧力が増加することによって増大しているのではなく、足背側にかかる圧力が低下することによって増大していることがわかりました(図2)。さらに、推進力は足部の動きがそのピーク速度を越え、減速し始めた時に最大に達していました。従来の水泳における推進の定説(手足で水を押し出した作用・反作用で推進力が得られる、速度の2乗に比例して推進力が増加する)によれば、巻き足において足部で水を蹴った時、足底の圧力がより大きく増加するはずですが、しかしながら、足背の圧力が低下しているという本研究結果はこれでは説明できず、巻き足においては定説とは異なる推進メカニズムが働いている、すなわち、動作中の選手の周りに生じる非定常な水の流れ(いわゆる渦などの乱流)が上向きの推進力の生成に大きく影響している可能性を示唆しています(図3)。巻き足において効果的に推進力を生み出すためには、ただ勢い任せに水を蹴るのではなく、和船の櫓の様に足底面を足部の移動方向に対して傾け、適切な迎え角を保つことで揚力(上向きの推進力)を発生させられるかが鍵となりそうです。また、巻き足中の推進力は平泳ぎのキックと比較して、動作のサイクル全体を通してより長い時間にわたり維持されていました。これは、インキック局面前半の足部のかき込み(スカーリング)動作(図1の③～⑤、および図2のスティックピクチャー)に起因する巻き足特有の特徴であると考えられます。本研究で得られたこれらの知見は、水球のみならず、巻き足を用いる他の水中競技や水中活動(アーティスティックスイミングやライフセービングなど)においても当てはまると推測されます。

今後の展開

今後は、技術レベルの異なる選手間の比較により、優れた巻き足技術をもつ選手が効果的に推進力を生み出すメカニズムの解明を目指します。また、体格やパワーで劣っていても、巻き足技術を高めることによって、競技パフォーマンスを向上できる可能性についても、研究を進めていきます。

参考図

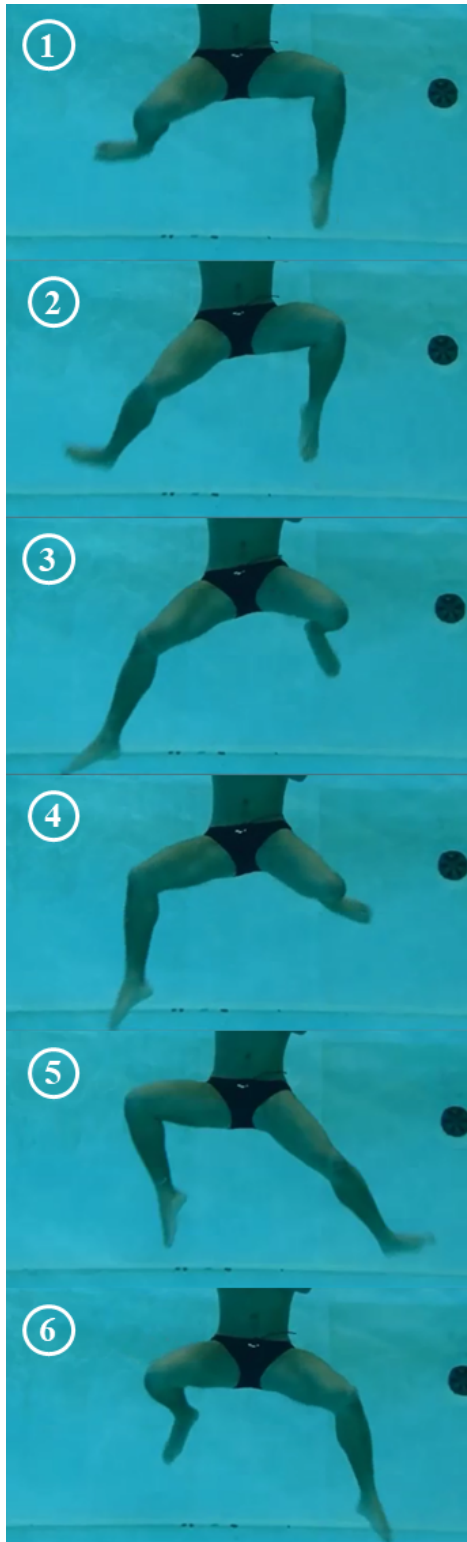


図 1 巻き足動作の連続写真。膝関節を中心に左右の下腿を交互に回旋(左脚は時計回り、右脚は反時計回り)させ、身体を支持するための推進力を生み出します。写真①～③がアウトキック(Out-kick)局面で体の中心から外側下方に蹴り出し、③～⑥がインキック(In-kick)局面で体の中心に向かって蹴り込む動作を行います。巻き足は水球だけでなく、アーティスティックスイミングやライフセービングなど、水中での様々な競技、活動において用いられる汎用性の高い動作です。

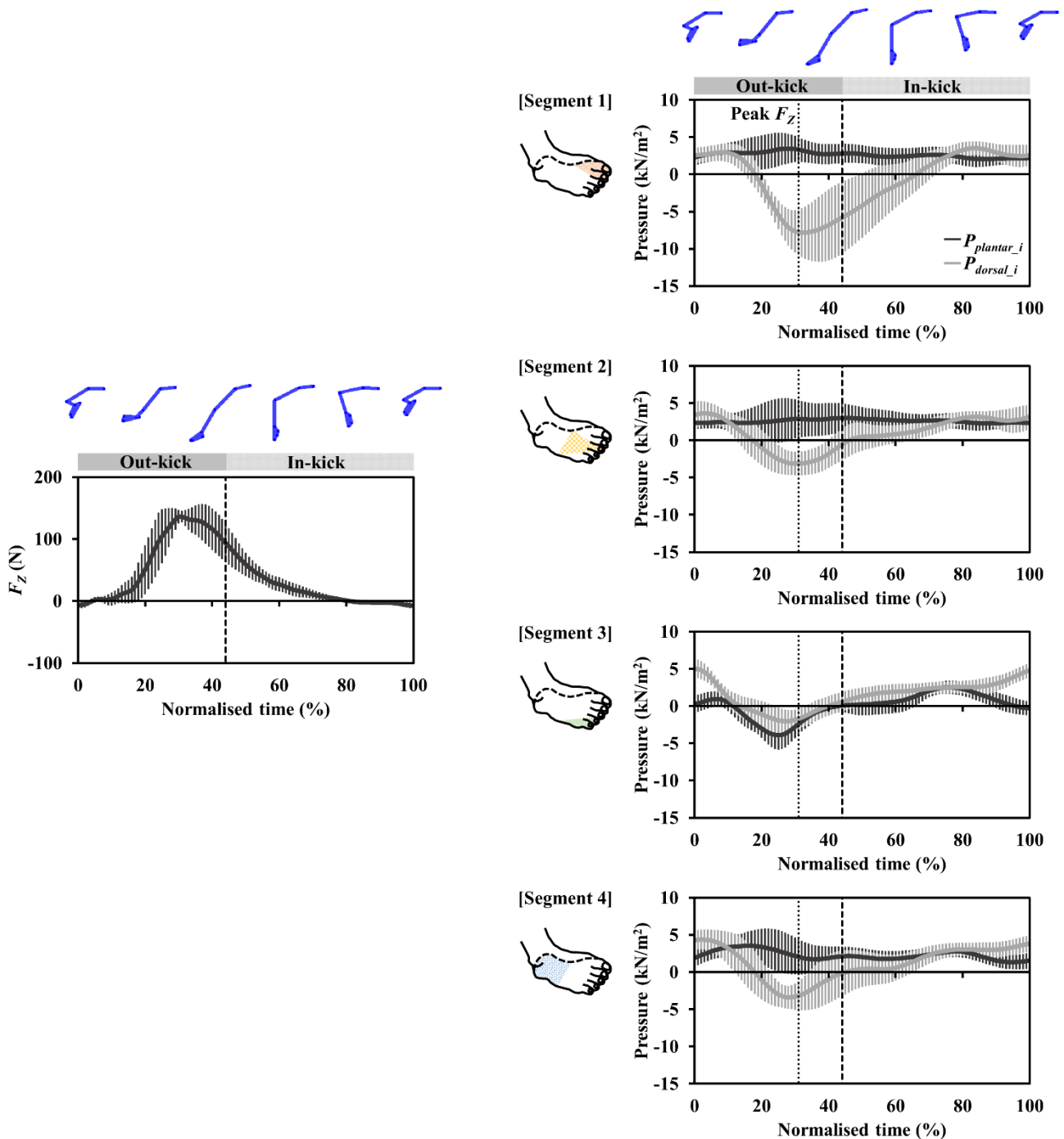


図2 巻き足動作1サイクル中の足部推進力(F_z ;左図)と足部各エリア(Segment 1;第1趾周辺、Segment 2;第3趾周辺、Segment 3;第5趾周辺、Segment 4;踵周辺)における足底・足背の圧力値(右図)。グラフの上部に示した青色のスティックピクチャーは図1の①～⑥の局面に対応した動作を示しており、グラフの横軸は、巻き足の1サイクル所要時間を100%に規格化して表したものです。

足底の圧力($P_{plantar,i}$;黒の実線)が足背の圧力($P_{dorsal,i}$;灰色の実線)よりも高値を示し、かつ、その差が大きいほど、推進力は増加します。分析の結果、巻き足の推進力は足背の圧力低下に起因する足底・足背間の圧力差の増大によって増加していることが判明しました。

アウトキック局面（推進力が増加していき、ピークに達する局面）

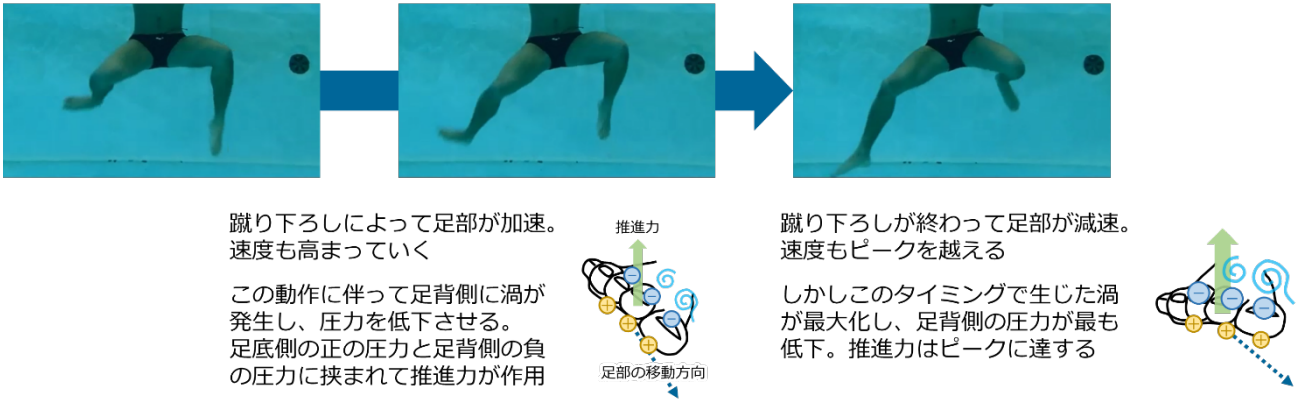


図 3 巻き足における推進力生成の推定メカニズム。足底・足背の圧力変動のデータから、巻き足における推進力は、水を切る動きによって発生した足部周りの非定常な水の流れ(渦などの乱流)の影響で増加していると考えられます。

掲載論文

【題名】 Propulsive forces on water polo players' feet from eggbeater kicking estimated by pressure distribution analysis

（圧力分布分析によって推定された巻き足における水球選手の足部推進力）

【著者名】 Eisuke Kawai, Takaaki Tsunokawa, Hiroyuki Sakaue, Hideki Takagi

【掲載誌】 Sports Biomechanics (DOI: 10.1080/14763141.2020.1797152)

問い合わせ先

高木 英樹(たかぎ ひでき)

筑波大学 体育系 教授

川合 英介(かわい えいすけ)

国際武道大学 体育学部 体育学科 助教