

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：35314

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K17849

研究課題名（和文）競泳のスタート局面における入水前後の動作と流体力の関係及び最小減速モデルの構築

研究課題名（英文）Relationship between pre- and post-entry water motion and fluid force during a swimming start and construction of a Minimum deceleration model

研究代表者

明石 啓太（Akashi, Keita）

環太平洋大学・体育学部・助教

研究者番号：10740160

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：競泳のスタート局面におけるブロック期、フライト期、エントリー期の動作がグライド期の減速に与える影響について検討した。その結果、グライド期の水平速度は入水完了時の水平速度で決定されること、入水完了時の水平速度には入水開始時の水平速度やエントリー期のセグメント迎角が影響することが明らかになった。また、エントリー期のセグメント角度にはフライト期の角運動量が影響しており、大きな角運動量を獲得できる泳者はブロック期初期に大きな力発揮をする特徴がみられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1. グライド期の水平速度を高く保つにはエントリー期初期のセグメントの前傾を保つ必要があり、これにはフライト期の角運動量が関連している。フライト期の角運動量がエントリー期の姿勢や迎角に影響することを初めて明らかにすることができた。エントリー期の姿勢制御を適正化するためにはフライト期の角運動量に着目することが必要と示された。

2. 角運動量の重要性が明らかになったことで、ブロック期では水平速度だけでなく、角運動量も大きくすることが必要となり、ブロック期研究の新たな視点を提供することができた。

研究成果の概要（英文）：This study examined the effects of the block phase, flight phase, and entry phase movement on the deceleration the glide phase during the starting phase. The results revealed that V_h (horizontal velocity) during the glide phase is determined by V_h at the completion of water entry, and that V_h at the completion of water entry is affected by V_h at the start of water entry and the segment angle of attack during the entry phase. In addition, angular momentum during the flight phase affected the segment angle during the entry phase, and swimmers who were able to acquire large angular momentum were characterized as exerting greater force in the early block phase.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：迎角 角運動量 姿勢制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

競泳競技の短距離種目においてスタートシグナルから 15m 通過までを示すスタート局面の重要性が指摘されており、競技力向上にはスタート局面のパフォーマンス改善も必要と言える。スタート局面をブロック期(スタート合図~離台)、フライト期(離台~入水開始)、エントリー期(入水開始~全身入水完了)、グライド期(全身入水完了~キックなどの推進動作開始)、推進期(キックなどの推進動作開始~15m 通過)に分けると、先行研究の対象区間はブロック期からフライト期に集中している(Slawson et al., 2013; Ikeda et al., 2016)。一方で国内エリート選手のスタート局面について、エリート選手の中でも特に 15m 通過時間が短く、スタート局面のパフォーマンスに優れた選手は離台時の重心水平速度は高くないにも関わらず、グライド期の水平速度は高く、水中での減速を抑える技術に優れていたことを示唆している(明石ほか, 2017)。このように水中での減速を抑える技術はスタート局面において重要性が高いと考えられる。また、入水角度(入水開始時の重心速度ベクトルの向き)などのエントリー期の初期条件とグライド期の重心速度の関連やエントリー期の初期条件はブロック期とフライト期の動作によって決定されることが指摘されている(尾関ほか, 2010)。このことから、スタート局面のブロック期からグライド期にかけての動作を統合的に分析することでパフォーマンスを決定する要因について明らかにできると考えられる。

2. 研究の目的

(1) グライド期の水平速度に影響する動作的要因の検討

フライト期およびエントリー期の各変数がグライド期の水平速度に与える影響について明らかにした。

(2) フライト期の角運動量とブロック期動作の関係性の検討

フライト期の角運動量が大きい泳者はブロック期の動作および力発揮にどのような特徴があるかを明らかにした。

3. 研究の方法

(1) グライド期の水平速度に影響する動作的要因の検討

被験者は 29 名の男子競泳選手とした。被験者の競技レベルは日本記録保持者から大学地方大会レベルまで幅広かった。分析対象区間はフライト期、エントリー期およびグライド期とし、陸上 1 台、水中 1 台のデジタルビデオカメラ(60fps)で水上は 2 m 地点から 5 m 地点まで、水中は 2m 地点から 8m 地点までを撮影した。測定試技はスタートから入水後 10m 以上けのびで推進することとした。試技の際、被験者の身体各所 12 か所に防水 LED マーカー(ノビテック製、煌)を貼付し、マーカーの欠落なく完了できた試技 3 回分のデータを取得した。撮影した映像を画像分析ソフト(DKH 製、Frame-Dias6)によって 2 次元 DLT 法で分析し、貼付箇所の実座標を算出した。得られた座標から重心軌跡、重心水平速度(V_h)、角運動量(L)、上体角度(UA)、大腿角度(TA)、下腿角度(SA)、上体迎角(UAA)、大腿迎角(TAA)、下腿迎角(SAA)を算出した。なお、3 回の試技のうち 5m 通過タイムの最も短かったものを分析対象としたが、そのデータが入水後の気泡によってマーカーが識別できなかった場合のみ、2 番目に 5m 通過タイムが短かったものを分析対象とした。入水開始時(指先の着水)を 0s とし、1.0s まで 0.1s ごとに分割した。なお、0.5s 時点ですべての被験者が入水を完了していたため、0s から 0.5s をエントリー期、0.5s 以降をグライド期と定義した。0.5s 時の水平速度と他の変数についてピアソンの積率相関係数および 0s 時の水平速度を制御変数とした偏相関係数を算出した。

(2) フライト期の角運動量とブロック期動作の関係性の検討

被験者は 31 名の男子競泳選手とした。フォースプレート内蔵型スタート台 Kistler 製 Z21368) を使用し、泳者がスタート台上で発揮した床反力を手、前足、後足に分離して測定した。測定した床反力を時間積分することで水平および鉛直の重心速度を算出した。ブロック期の動作をフェーズ 1 (スタートシグナルから手離台)、フェーズ 2 (手離台から後脚離台)、フェーズ 3 (後脚離台から前脚離台)に分割した。また、デジタルビデオカメラ(60fps)によってブロック期およびフライト期を撮影した。画像分析は(1)と同様に行った。フライト期の角運動量とブロック期の力および速度に関連する変数についてピアソンの積率相関係数を算出した。

4. 研究成果

(1) グライド期の水平速度に影響する動作的要因の検討

V_{h0s} 、 $V_{h0.5s}$ および V_{h1s} の相関関係を図 1 に示した。 V_{h1s} は V_{h0s} および $V_{h0.5s}$ と有意な相関を示し、特に $V_{h0.5s}$ との間に強い相関関係にあった。よって、グライド期の水平速度は入水完了時点ではほぼ決定されるといえる。

V_{h0s} を制御変数とした $V_{h0.5s}$ との偏相関係数を表 1 に示した。 $V_{h0.5s}$ と有意な偏相関係数に

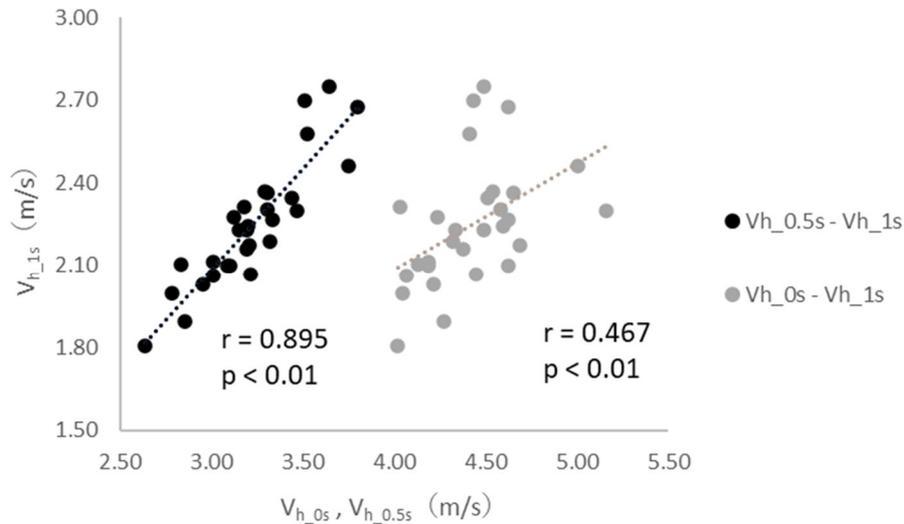


図1 各地点での水平速度間の相関関係

あったのは角運動量、 $UA_{0.2s}$ 、 $UA_{0.5s}$ 、 $SA_{0.5s}$ 、 $UAA_{0.2s}$ および $TAA_{0.3s}$ であった。入水した身体箇所には抗力が生じるが、抗力の大きさは物体の移動速度、前方投影面積、物体の形状に比例する。水泳の場合、泳者の速度、体型および姿勢によって抗力が変化すると考えられるため、入水時の姿勢制御に関連する角運動量や各セグメントの角度および迎角が $V_{h_{0.5s}}$ と有意な相関関係にあったことは理にかなっている。先行研究においても UAA_{0s} (Ozeki et al., 2008) や水中キック時の体幹および大腿セグメントの迎角、角運動量のスタートパフォーマンスへの関連が示されている。しかし、 $V_{h_{0.5s}}$ の $V_{h_{0s}}$ への直接的な影響を考慮すると $V_{h_{0.5s}}$ と他の変数についての関連性を検討するには $V_{h_{0s}}$ の影響を排する必要がある。そこで $V_{h_{0.5s}}$ と有意な相関が認められた変数について $V_{h_{0s}}$ を制御変数として $V_{h_{0.5s}}$ との偏相関分析を行った。その結果、入水開始時の変数は角運動量のみ有意な偏相関関係が認められた。角運動量はすべての泳者で負の値であり、フライト期において泳者は前方に回転しながらエントリー期に移行する。フライト期は重力以外の外力が生じないため、離台時の姿勢と角運動量、フライト期での動作によって入水開始時まで各セグメントがどれだけ前傾するか決定される。よって、角運動量は入水技術の重要な要素であると考えられる。このように入水開始以前の局面では離台までに獲得される水平速度と角運動量を大きくすることが $V_{h_{0.5s}}$ を増加する条件であると示唆された。一方で、入水開始以降の変数はすべて有意な偏相関関係が認められた。このことから、入水開始時の水平速度に関係なく、入水開始以降の姿勢を適切に制御することで入水完了時の水平速度を高く保つことができると示唆された。入水開始以降、泳者は前傾姿勢 (0 deg 未満) にある各セグメントを徐々に水平姿勢 (0 deg) へ変化させながら進行方向を転換する。しかし、 $UA_{0.2s}$ 、 $UA_{0.5s}$ および $SA_{0.5s}$ が $V_{h_{0.5s}}$ と有意な負の相関にあったことから、 $V_{h_{0.5s}}$ が大きい泳者ほど入水初期の段階ではセグメントの前傾を保ち、水平姿勢へと近づけるタイミングが遅かった。

セグメント角度は動作を視覚的に理解する上で重要な指標であるが、減速を生む流体力は泳者回りの流れの様相によって決定されるため、泳者に作用する流体力を推定するには迎角について検討する必要がある。 $UAA_{0.2s}$ および $TAA_{0.3s}$ が $V_{h_{0.5s}}$ と有意な負の相関関係にあった。すべての被験者においてセグメントの入水完了時点での UA および TA は負の値 (前傾) であったが、 UAA および TAA は正の値であった。よって、この時泳者は各セグメント後端の速度ベクトルの向きよりもセグメント角度を水平に近い方向に向けていたことが分かる。迎角が増加するとは前方投影面積も増加するため、抗力の増加を招き、水平速度の減速につながると考えられる。入水による水平速度の損失を小さくするためには入水開始直後の姿勢変化を小さくし、迎角の増加を抑える必要があるといえよう。また、入水開始以降のセグメント角度の多くに角運動量との有意な相関が見られた (表 2)。これまでもフライト期の角運動量は入水開始時の姿勢に関連性することが報告されているが、本研究によって水中での姿勢制御にも影響することが示された。フライト期における角運動量を大きくすることで、入水開始以降の各セグメントの前傾を保つことにつながり、流体力に影響する各セグメントの迎角が小さくなると推測される。

表1 V_{h0s} を制御変数とした $V_{h0.5s}$ を他の変数の偏相関係数

	r	p
L (kgm ² /s)	0.679 *	0.000
V vecor _{0s} (deg)	0.017	0.930
UA _{0.2s} (deg)	-0.535 *	0.003
UA _{0.5s} (deg)	-0.384 *	0.040
SA _{0.5s} (deg)	-0.429 *	0.020
UAA _{0s} (deg)	-0.236	0.218
UAA _{0.2s} (deg)	-0.579 *	0.001
TAA _{0.3s} (deg)	-0.443 *	0.016

表2 角運動量と他の変数の相関係数

	r	p
UA _{0s} (deg)	0.244	0.203
UA _{0.2s} (deg)	0.651 *	0.000
UA _{0.5s} (deg)	0.189	0.327
TA _{0s} (deg)	0.452 *	0.014
TA _{0.3s} (deg)	0.672 *	0.000
TA _{0.5s} (deg)	0.589 *	0.001
SA _{0s} (deg)	0.468 *	0.010
SA _{0.4s} (deg)	0.382 *	0.041
SA _{0.5s} (deg)	0.641 *	0.000

(2) フライト期の角運動量とブロック期動作の関係性の検討

角運動量 ($-22.4 \pm 4.8 \text{ kgm}^2/\text{s}$) と有意な相関が見られた変数として、手の最大鉛直力 ($r = 0.534, p < 0.05$)、後脚の最大力到達時間 ($r = 0.471, p < 0.05$)、50%ブロックタイムにおける獲得速度 ($r = -0.654, p < 0.01$) が挙げられる。また各区間の終了時間はフェーズ1が $0.50 \pm 0.06 \text{ s}$ 、フェーズ2が $0.60 \pm 0.06 \text{ s}$ 、フェーズ3が $0.73 \pm 0.05 \text{ s}$ であり、50%ブロックタイムは $0.37 \pm 0.06 \text{ s}$ であった。以上のことから入水開始時の重心回りの角運動量が大きい泳者には フェーズ1において手でスタート台を強く引き上げつつ、短時間で後脚の最大筋力を発揮することができる、50%ブロックタイムというブロック期の早い段階で高い速度を獲得できるという特徴があるといえる。角運動量の増加にのり、エントリー期における減速低減に有利な姿勢制御につながると考えられるため、エントリー期以降に課題を持つ泳者はブロック期の動作改善を考慮する必要がある。ただし、エントリー期以降の水平速度には入水開始時の水平速度が最も影響するため、跳び出し水平速度を犠牲に角運動量が増加されるようなブロック期動作に変化しないよう注意する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 明石啓太
2. 発表標題 競泳のスタート局面における入水直後の脚動作のコントロール
3. 学会等名 日本バイオメカニクス学会
4. 発表年 2018年～2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------