

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01714

研究課題名(和文) 競泳競技における高強度インターバルトレーニングの負荷特性の究明

研究課題名(英文) Investigation of the training load characteristics of high intensity interval training in swimming

研究代表者

仙石 泰雄 (Sengoku, Yasuo)

筑波大学・体育系・准教授

研究者番号：30375365

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、運動強度の違いが泳技術に与える影響を調査することにより、競泳競技における高強度トレーニングの負荷特性を究明することを目的とした。その結果、全力クロール泳時における推進効率は、低強度泳時と差はないことが明らかとなった。ただし、全力泳時のストローク頻度より高い頻度で泳いだ際は、上肢筋における屈筋と伸筋の共活動が高まると同時に水中ストローク終盤の泳動作が変化することで、非効率的な動作になることが明らかとなった。本研究結果より、体力面を向上する上で高強度とレーニングの有用性が指摘されているものの、競泳競技においてはトレーニングで用いるストローク頻度を適切に調節することの重要性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スポーツ現場において有酸素性能力と無酸素性能力の双方を向上することのできる高強度トレーニングが注目されているが、高い強度で泳ぐことが泳技術に与える影響については明らかとなっていない。本研究結果より、低強度泳と高強度泳時における3次元動作、手部推進力および筋活動量の変化を学術的に究明した。そのことにより、競泳競技のトレーニング現場において高強度トレーニングを処方する際に、水泳運動で重要となる泳技術への影響を踏まえたトレーニングプログラムの立案法について提案することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify the characteristics of high intensity training in swimming by investigating the effect of different swimming intensity on the swimming technique. As results, propelling efficiency did not change between maximal effort front crawl swim and low intensity swimming. However, when the stroke frequency was increased above that of maximal effort swim, it was clarified that co-activation level of the agonist and antagonist muscle at the upper limb increased. Furthermore, the underwater stroke movement change during the latter stroke phase, and resulted in an un-efficient stroke technique. From the present research, even the beneficial effect of high intensity training is reported on physiological aspect, the importance to adjust the stroke frequency to an optimal level was indicated when prescribing a high intensity training program in competitive swimming event.

研究分野：コーチング科学

キーワード：圧力分布測定 筋電図解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

30秒から8分で終了する競技では、有酸素性能力と無酸素性能力の双方が競技パフォーマンスを向上する上で重要となる。これまでは、有酸素性能力を高める持久性トレーニングと無酸素性能力を向上するスプリントトレーニングが別々に実施されてきた。しかしながら、Tabata et al.(1996)は、20秒間の170%VO₂max運動を10秒間の休息を挟み8セット繰り返すトレーニングが、最大酸素借を向上させると同時に、70%VO₂maxの1時間運動のトレーニングと同様に最大酸素摂取量をも有意に向上する効果があることを報告したことから、高強度インターバルトレーニング(High Intensity Interval Training: HIIT)が世界的に注目されるようになった。Tabata et al. (1996)の研究は、自転車運動を対象としており、陸上運動におけるHIITの効果について低強度長時間運動のトレーニングと比較した研究は数多く報告されている(Laursen, 2010)。

競泳選手を対象としたHIITの研究として、Ogita et al. (2014)が5秒間の最大努力泳を10秒間の休息を挟み5セット反復するトレーニングを1回のセッションで2回実施することにより、最大酸素借と最大酸素摂取量が向上することを報告した。我々の研究グループにおいても、高強度インターバルトレーニングにおける運動時間の違い(5秒・10秒・20秒; 休息時間10秒)が、トレーニング負荷に与える影響を調査した(Sengoku et al., 2014)。その結果、高強度運動の時間が延長するほど解糖系へのトレーニング負荷が増大する一方で、ストローク頻度は運動時間の延長により有意に低下することが明らかとなった。このことにより、水泳運動でHIITを実施した場合、生理的能力の向上は陸上運動と同様に観察されるが、泳技術の面においては運動強度を上昇することが弊害となる可能性が示唆された。このように、競泳競技におけるHIITの研究は十分に進んでおらず、競泳競技におけるHIITのトレーニング負荷特性について、特に泳技術面への影響について解明することが望まれていた。

2. 研究の目的

本研究は、低強度および高強度のクロール泳中における3次元動作(研究課題1)、手部流体力(研究課題2)および筋活動量(研究課題3)を分析し、運動強度の違いが泳技術に与える影響を明らかにすることにより、競泳競技における高強度トレーニング実施時のトレーニング負荷特性を究明することを目的とした。

3. 研究の方法

[研究課題1]

研究課題1には、よくトレーニングされた女子競泳選手8名が参加した。対象者は、実験回流水槽において10秒間のクロール泳を4試技実施した。各試技の泳速度は、100m自由形の平均泳速度の80%、85%、90%、95%とした。各試技において、対象者の身体10点(左右肩前後、左右肘外側、左右手首、左右大転子)に有線LEDマーカーを貼付し、16台のカメラを設置したモーションキャプチャーシステムを用いて3次元動作解析を実施した。分析項目は、ストローク頻度、ストローク長および肩・腰のローテーション角度とし、泳速度の上昇に伴う3次元泳動作の変化を分析した。

[研究課題2]

研究課題2には、よくトレーニングされた男子競泳選手8名が参加した。対象者は、屋内プールにおいて20mのクロール泳を6試技実施した。各試技は、20m全力泳時のストローク頻度の70%、80%、90%、100%、110%および120%のストローク頻度と設定した。ストローク頻度は、水中電子メトロノームを装着して調節させた。試技中の泳動作は、分析範囲を取り囲むように15台の水中カメラを配置した3次元モーションキャプチャーシステムを用いて分析した。ストローク動作の局面分けは、Collet et al. (2000)の方法に従いGlide局面、Pull局面、Push局面およびRecovery局面に分割した。また、試技中の手部表面の圧力分布計測をするため、防水処理を施した小型圧力センサを角川ほか(2019)の方法に従い対象者の右手部の手掌3ヶ所と手背3ヶ所の計6ヶ所に貼付した。分析項目は、ストローク頻度、ストローク長、手部スピード、手部迎角、手部流体力、手部推進力および推進力比率とした。

[研究課題3]

研究課題3には、よくトレーニングされた男子競泳選手8名が参加した。研究課題2と同様に対象者は、屋内プールにおいて20mのクロール泳を6試技実施した。各試技は、20m全力泳時のストローク頻度の70%、80%、90%、100%、110%および120%のストローク頻度と設定した。試技中の泳動作は、分析範囲を取り囲むように15台の水中カメラを配置した3次元モーションキャプチャーシステムを用いて分析した。ストローク動作の局面分けは、Collet et al. (2000)の方法に従いGlide局面、Pull局面、Push局面およびRecovery局面に分割した。また、表面筋電図を用いて上腕二頭筋、上腕三頭筋、尺側手根伸筋、尺側手根屈筋、三角筋中部、大胸筋鎖骨部、僧帽筋上部、広背筋、腹直筋、外腹斜筋、脊柱起立筋の計11筋における筋活動量を分析した。また、前腕、上腕および体幹部における屈筋と伸筋の共活動時間を分析した。

4. 研究成果

研究課題 1 の結果、よくトレーニングされた女子競泳選手がクロール泳において泳速度を上昇する際、ストローク頻度が有意に増加し、ストローク長は有意に変化しないことが明らかとなった。男子競泳選手においては、泳速度の上昇に伴いストローク頻度が上昇し、ストローク長が減少することが報告されていることから、女子競泳選手と男子競泳選手では泳速度を上昇させる要因が異なる可能性が示唆された。また、肩と腰のローテーション角度を分析した結果、泳速度の上昇に伴い、肩のローテーション角度は変化せず、腰のローテーション角度のみが減少することが示された。男子競泳選手においては、クロール泳の泳速度が上昇する際に肩の腰のローテーション角度が共に減少することが報告されていることから、高強度泳中はローテーション動作において男女の違いが認められることが示唆された。3次元動作解析の結果に得られたこれらの知見より、女子競泳選手が高い強度で泳いでいる際は、低い強度で泳いでいる際とは異なるコーディネーションでクロール泳を泳いでいることが明らかとなったため、クロール泳のスプリントパフォーマンスを高めるためには、高い強度で泳いでいる際のストロークメカニクスを反復する必要があると考えられた。ただし、本研究に参加した対象者は、日本選手権において入賞するレベルの競技者が含まれていることから、本研究課題における結果は高い競技レベルの泳者の特徴を反映している可能性がある点について注意を払う必要がある。

研究課題 2 の結果、クロール泳においてストローク頻度を全力泳時の 70%から 100%に上昇した際、ストローク長の有意な低下が認められるものの、泳速度が有意に上昇することが示された。その際に手部に働く流体力は有意に増加し、推進方向に働く手部推進力も有意に増加した。また、推進効率の指標となる流体力に対する推進力の比率（推進力比率）は、ストローク頻度の上昇に伴い変化しなかった。また、泳速度が上昇した要員として、手部迎角と手部スピードの上昇が関与していることが明らかとなった。これらのことから 20m 全力泳時のストローク頻度でクロール泳を泳ぐ際は、高い推進力の発揮が認められると共に推進効率の低下が観察されないことから、この強度でトレーニングすることで泳技術が損なわれる可能性は低いことが示唆された。

一方で、ストローク頻度を全力泳時の 110%と 120%に上昇した際は、ストローク頻度の上昇率よりもストローク長の低下率が上回ることで、泳速度が上昇しないことが示された。特に、120%試技において手部推進力と推進力比率が低下する傾向が観察された。さらに、ストローク頻度を超最大に上昇することで水中ストローク中の平均手部スピードは上昇するものの、Push 局面において迎角が有意に減少するため泳速度が上昇しないことが明らかとなった。研究課題 2 より、20m 全力泳の強度で泳ぐ際は、ストローク技術に変化は認められないものの、ストローク頻度を全力泳時の 110%以上に上昇するとストローク動作が変化し非効率的な泳ぎになることが示された。

研究課題 3 の結果、測定した上体の 11 筋は、ストローク頻度の上昇にともない筋活動量が増加する傾向が認められた。特に、全力泳以上にストローク頻度を上昇することで上腕二頭筋と外腹斜筋の筋活動量が全力泳時より有意に高まることが明らかになった。前腕部、上腕部および体幹部の屈筋と伸筋の共活動レベルを分析した結果、ストローク頻度を上昇すると前腕部の共活動レベルが水中ストロークの Glide 局面で増加し、非効率的な筋活動様式に変化することが明らかとなった。

3つの研究課題から得られた研究結果をまとめると、20m 全力泳時の泳技術は低強度で泳いでいる際の泳技術と比較して推進効率は低下しておらず、20m 全力泳の強度でトレーニングをすることにより泳技術が損なわれる危険性は少ないと考えられ、競泳選手を対象とした高強度トレーニングを実施する上で適切な強度であることが示唆された。特に、女子競泳選手は低強度泳時と高強度泳時において異なるコーディネーションで泳いでいることが示されたことから、スプリント競技を専門とする女子選手がレース中に用いるストローク技術を高めるためには、高強度トレーニングを実施することが重要であると考えられる。

一方で、ストローク頻度を 20m 全力泳以上に上昇すると、水中ストローク終盤において手部迎角が減少することで手部推進力が低下することが明らかとなった。また、前腕の共活動レベルが増加することも観察されたことから、ストローク頻度を 20m 全力泳以上に上昇すると非効率的なストローク動作に変化することが示された。そのため、ストローク技術を損なわずに高強度トレーニングを実施するためには、トレーニング中のストローク頻度を適切に設定する必要があることが示された。しかしながら、ストローク頻度を 20m 全力泳以上に上昇すると、筋活動量は増加し続けることが明らかになったことから、水泳動作に特異的な筋力発揮を高めるトレーニングとして活用できる可能性があり、トレーニング目的に応じて超最大頻度での高強度トレーニングを活用できると考えられる。

これまで、競技者の生理学的な能力を高める上で高強度インターバルトレーニングの有効性が報告されているが、水中で推進する競泳競技において高い強度（高いストローク頻度）で泳ぐことにより泳技術を低下させる可能性が問題視されてきた。本研究結果より、競泳競技において高強度インターバルトレーニングを実施する際における適切なストローク頻度の基準を導き出すことができ、トレーニングを処方する上でコーチング現場へ指針を提示することができた。今後は、高強度インターバルトレーニングを継続する中で、泳者の泳技術がどのように変容するか縦断的に分析することにより、競泳競技に特化した高強度トレーニングの実践方法を科学的に立証することが望まれる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Daiki Koga, Tomohiro Gonjo, Eisuke Kawai, Takaaki Tsunokawa, Shin Sakai, Yasuo Sengoku, Miwako Homma, Hideki Takagi	4. 巻 online
2. 論文標題 Effects of exceeding stroke frequency of maximal effort on hand kinematics and hand propulsive force in front crawl	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics	6. 最初と最後の頁 online
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/14763141.2020.1814852	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 古賀大樹, 角川隆明, 仙石泰雄, 本間三和子, 高木英樹	4. 巻 66
2. 論文標題 クロール泳におけるストローク頻度と手部推進力の関係	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 体育学研究	6. 最初と最後の頁 207-218
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5432/jjpehss.20123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 仙石泰雄, 中村優介, 山川啓介, 高木英樹
2. 発表標題 クロール泳におけるストローク頻度上昇時の筋活動量 - 最大努力以上の頻度における変化 -
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuo Sengoku
2. 発表標題 Mechanism and strategy to increase propulsive force during swimming -Pressure distribution analysis approach-.
3. 学会等名 III CRCE SESI SYMPOSIUM (Online) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村優介、山川啓介、仙石泰雄
2. 発表標題 クロール泳におけるストローク頻度増加時における筋活動様式の変化
3. 学会等名 2019年日本水泳・水中運動学会年次大会
4. 発表年 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
研究分担者	下山 好充 (Shimoyama Yoshimitsu) (20375364)	新潟医療福祉大学・健康科学部・教授 (33111)	
研究分担者	山川 啓介 (Yamakawa Keisuke) (60783785)	日本女子体育大学・体育学部・講師 (32671)	

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
---------	---------