

令和元年6月22日現在

機関番号：34411

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13010

研究課題名(和文) 泳運動の動作と力発揮調整機序の解明

研究課題名(英文) Modulation of performance enhancements during swimming

研究代表者

石川 昌紀 (Ishikawa, Masaki)

大阪体育大学・体育学部・教授

研究者番号：20513881

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)：水中運動特有の動きに関する神経系や筋腱の動態に関する測定データの収集は、パフォーマンスの向上において有益な情報となる。本研究は、ひずみ、超音波、筋電とモーションセンサなどを用いて、様々な泳動作中の筋活動とその筋腱の振る舞いを測定し、ドルフィンキックでの高い泳速度を可能にする筋腱の形態的特徴とそれらの泳動作中の機能的な役割について明らかにすることを目的とした。

その結果、世界初となるヒトの泳中の筋腱の動態測定が可能となり、より速く泳ぐために腱の働きが重要であることが確認され、泳中の特異的な筋活動と共に特異的な筋腱の形態的特徴がパフォーマンス発揮に重要であることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では超音波によるドルフィンキック泳中の筋腱動態測定が可能となり、衝撃の少ない泳運動においても筋だけでなく腱組織の弾性を利用してパワー発揮をしていることが明らかとなった。泳運動だけでなく、陸上での少ない衝撃の運動においても腱などの弾性エネルギーを効果的に利用し、効率的な運動が可能であることを示した。これらのセンサを用いたリアルタイムフィードバックによるスポーツ動作を評価する方法は、体罰・暴力問題で揺れる指導者の主観による評価に代わる客観的な運動能力の評価が可能となり、対象者のアクティブ・ラーニングにつながるツールとしての活用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Without high impact forces, it is not clear how human can utilize tendon elasticity during aquatic movements. The purpose of the present study was to examine the muscle-tendon behavior together with kinematics and electromyographic (EMG) activities during human aquatic movements such as dolphin-kicking. In the present study, the strain silicon band and EMG sensors as well as ultrasonographic probe were used simultaneously in the swimming pool. Our results clearly showed that with increasing swimming velocities, muscle fascicles and tendinous tissues can be utilized as tendon elastic energy in a similar way to terrestrial locomotion. However, muscle activation profiles cannot necessarily be activated in a similar way to terrestrial locomotion. The unique muscle co-activation during dolphin-kicking can be for enhancing the kicking movements of the low legs as well as for keeping the high muscle force and stiffness level during swimming to complement low impact loads due to hydrodynamics.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：ドルフィンキック 泳運動 超音波 筋腱メカニクス 筋電図 弾性エネルギー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

水中運動では陸上での運動と比較して測定で困難な点が多いため、水泳特有の動作や力発揮特性について不明な点が多い。これまで身体運動はビデオカメラなどによる動作解析が主流であったが、加速度やジャイロセンサの小型化・高性能化による身体運動を妨げない実装可能なモーションセンサの登場や超音波装置による筋内部の状態評価によって、水泳特有の“水のキャッチやキック動作”のバイオメカニクス研究が可能になってきた。

### 2. 研究の目的

本研究では、伸縮性ひずみセンサによる水中動作分析方法の開発と、超音波装置による筋腱の動作・力発揮評価システムの開発し、水泳特有の“水のキャッチやキック動作”の調整機序を解明することとそれらの動作特性を可能にする競泳選手の筋腱形態的特徴について明らかにすることを旨とした。さらに、泳中の測定データをリアルタイムフィードバックできるシステムの開発を旨とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、下記の2つの測定方法を確立し、泳中の動作分析と筋腱動態計測、筋活動計測を同時に行うことができるシステムを確立した：

- ・シリコンフィルムに通電材料を分散することでフィルムの伸び縮みを検知する伸縮性ひずみセンサを各関節に貼り付け、泳中の各関節角度計測を可能にする伸縮性ひずみセンサの開発
- ・泳中の超音波装置による筋腱動態とその硬さ評価方法の開発
- ・上記2つの測定方法と、泳中の筋活動測定の同時測定方法の確立

上記の方法を用いて、異なる泳速度でのドルフィンキックや自由形のプル動作中の力発揮制御について検討した。測定は本学の室内プールで実施した。

### 4. 研究成果

伸縮性ひずみセンサを樹脂で防水コーティングし、泳中の各関節角度のリアルタイム計測が、陸上だけでなく水中においても可能になった。様々な身体運動において、簡易に各関節にかかる負荷を可視化・評価することが可能となり、今後、子どもや高齢者の関節にかかる負荷の視覚化などに発展させることが期待できる。しかしながら、耐久性にはまだまだ課題が残り、使用回数に制限があり、今後の検討課題となった。

超音波によるドルフィンキック泳中の筋腱動態測定が可能となった。この方法を用いて、キック速度の増加に伴って、衝撃の少ない泳中においても筋だけでなく腱組織の弾性を利用してパワー発揮を高めていることが明らかとなった。しかしながら、陸上での運動と異なり、筋活動の開始タイミング違いや主動筋と拮抗筋の共縮活動が確認された。これらの競泳選手特有の筋活動や筋腱の振る舞いは、彼らの長い筋と腱、特に、腱膜の弾性が関係している可能性が示された。今回、腱膜の動態に関する重要性については想定していなかったため、腱膜動態のリアルタイムフィードバックを可能にすることができなかったが、今後の超音波プローブの改良で解像度が高めることによって腱膜のリアルタイム動態計測が可能となることを期待したい。これらの本研究知見は、ドルフィンキックとプル動作に関する論文、競泳選手の筋腱の形態とそれらの硬度に関する論文として現在、投稿中である。

本研究では、比較的動作がゆっくりな泳運動を対象としたが、陸上での高速な走・跳運動においてもリアルタイムフィードバックによるスポーツ動作評価の確立が期待され、体罰や暴力問題で揺れる指導者の主観による評価に代わる客観的な運動能力評価の開発は、生徒や選手のアクティブ・ラーニングのツールとして期待される。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

新井彩, 石川昌紀, 伊藤章. (2018) Stretch-shortening cycle 運動における筋活動特性. 陸上競技研究 第112号: 2-11.

Sano K, Sakamoto T, Nishimura R, Danno Y, Komi PV, Ishikawa M. (In press) Muscle-tendon interaction during human dolphin-kick swimming. *Frontiers in Physiology*.

〔学会発表〕(計12件)

#### 講演

石川昌紀 柔軟性の受難. 第12回関西アスレティックトレーナーフォーラム. 兵庫 2018年12月2日

Ishikawa M. Neuromuscular modulation and musculoskeleton specifics for sport athletes. International Symposium of Sports Medical Science for Persons with Impairments in Wakayama 2018. Wakayama, Japan, 22-23rd Sep 2018

## 一般発表

国正陽子, 佐野加奈絵, 牧野晃宗, 上野薫, 貴嶋孝太, 村上雅俊, 石川昌紀. 競技特異的な動作によるヒトの腱形態適応の可能性. 日本体育学会第 69 回大会. 徳島 2018 年 8 月

Sano K, Danno Y, Ishikawa M. (2018) Neuromuscular characteristics during dolphin-kick swimming and its functional implication of elastic utilization. 23rd annual Congress of the European College of Sport Science, Dublin, Ireland. 4-7th July.

佐野加奈絵, 石川昌紀. 水中ドルフィンキックにおける推進力獲得のための筋腱動態の解明. 大阪体育学会第 55 回大会 関西大学 2017 年 3 月 12 日

Oono N, Sano K, Kunimasa Y, Makino A, Nicol C, Komi PV, Ishikawa M. (2017) Neuromuscular responses to unweighting at standing. XXXI Congress of the International Society of Biomechanics. Brisbane, Australia, 23-27th July 2017.

上野薫, 石川昌紀, 佐野加奈絵, 国正陽子, 牧野晃宗. 競技種目によるハムストリングス筋群の特徴 競泳・陸上選手に着目して. 第 68 回日本体育学会大会. 静岡大学. 2017 年 9 月 8-10 日.

国正陽子, 佐野加奈絵, 牧野晃宗, 上野薫, 石川昌紀. 陸上短距離選手と競泳選手におけるアキレス腱の形態的・力学的特性. 静岡大学. 第 68 回日本体育学会大会. 静岡大学. 2017 年 9 月 8-10 日

上野薫, 石川昌紀, 佐野加奈絵, 国正陽子, 牧野晃宗. 陸上・競泳選手のハムストリングス筋群の特異的な太さについて. 大阪体育学会第 55 回大会 関西大学 2017 年 3 月 12 日

牧野晃宗, 上野薫, 国正陽子, 佐野加奈絵, 貴嶋孝太, 石川昌紀. 統括的パフォーマンス研究・サポート拠点センターの取り組み. 第 13 回 JISS スポーツ科学会議 2016 年 11 月 29 日

田中ひかる, 新井彩, 浦田達也, 国正陽子, 佐野加奈絵, 石川昌紀. 異なるスポーツ競技選手における腱の弾性利用. 大阪体育学会大会 和歌山大学 2016 年

Sano, K., Makino, A., Kunimasa, Y., Hiroishi, T., Ozaki, R., Miyashita, A., Sakamoto, T., Ishikawa, M. (2016) Knee hyperextension caused by the up-beat dolphin-kick movement. 21st annual Congress of the European College of Sport Science, Vienna, Austria. 6-9th July.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年:  
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：佐野 加奈絵

ローマ字氏名：Sano Kanae

研究協力者氏名：国正 陽子

ローマ字氏名：Kunimasa Yoko

研究協力者氏名：Paavo V KOMI , University of Jyvaskyla , Finland

ローマ字氏名：Paavo V KOMI , University of Jyvaskyla , Finland

研究協力者氏名：Vesa Linnamo , University of Jyvaskyla , Finland

ローマ字氏名：Vesa Linnamo , University of Jyvaskyla , Finland

研究協力者氏名：Nicol Caroline , Aix-Marseille University , France

ローマ字氏名：Nicol Caroline , Aix-Marseille University , France

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。