

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16547

研究課題名(和文) ヒト泳運動における骨格筋の制御機序と形態的特徴の解明

研究課題名(英文) Specific musculoskelton and muscle-tendon interaction for underwater swimming.

研究代表者

佐野 加奈絵 (Sano, Kanae)

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・助教

研究者番号：30762273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：陸で高い運動効率を生み出す運動では、接地時の衝撃を弾性エネルギーとして利用する筋腱相互作用が重要な役割を果たすことが知られているが、接地衝撃がほとんどない水中での泳運動では高い運動効率やパワー発揮を可能とする筋腱動態や形態的特徴について明らかにされていない。本研究では水中など特殊環境下における身体運動中の筋腱動態と筋活動、動作の同時測定を可能とし、水中の特殊環境下においても陸での身体運動と同様に筋腱が伸張・短縮を示し、泳速度の増加に伴い筋を調整し効果的に腱の弾性を利用して高い推進力を獲得している可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：On land, impact force can be utilized as the storage and release of elastic energy during terrestrial gait. This elastic behavior of muscle-tendon interaction has been examined during human dynamic movements. In swimming, however, impact forces are low and it remains questionable how swimmers can enhance the swimming efficiency and whether elastic strain energy can be utilized during swimming. Therefore, the purpose of the present study was to examine the muscle-tendon behavior together with muscle activities during the human underwater dolphin-kick of swimming. In results, the fascicles and tendinous tissues performed a stretching-shortening action during the dolphin-kick swimming. With increasing swimming speeds, the tendinous tissues were stretched more and also the recoil of the tendinous tissues was increased. Therefore, the tendinous elasticity can play important roles not only on land but also under water.

研究分野：スポーツバイオメカニクス，神経・筋機能

キーワード：ドルフィンキック 超音波 ハムストリングス筋群 伸張-短縮サイクル 骨格筋 弾性エネルギー 競泳選手

### 1. 研究開始当初の背景

ヒト身体運動は、骨に付着している様々な筋肉の活動を介した関節運動によって行われる。特に、陸上でのダイナミックな身体運動においては、筋肉量のみでパフォーマンスが決定されることはなく、神経系の調整による筋肉内の筋・腱の相互作用が運動効率やパワー発揮に重要な役割を果たすことが報告されている。近年では、さらなる生体イメージング技術の進歩により、非侵襲性の超音波イメージング法を用いた生体内部の筋・腱動態の撮像が可能となり、静的な筋力発揮中や歩行中のみならず、接地時の衝撃を伴うダイナミックな身体運動中の筋腱動態が明らかとなってきている。

しかしながら、これまでのヒトの身体運動における骨格筋メカニクスに関する研究では、歩・走・跳運動など、接地時の衝撃を弾性エネルギーとして利用する筋腱の振る舞いに着目した研究が多く、接地時の衝撃をほとんど受けない環境下におけるヒトの筋・腱の動態や筋の調整メカニズムは、動物による研究では陸上とは異なる可能性が示唆されているものの、いまだ明らかではない。

### 2. 研究の目的

本研究では、歩行や走・跳運動とは異なり、接地衝撃がほとんどない泳運動における筋腱動態と競泳選手の筋の形態的特徴を明らかにし、高い泳速度を可能とするヒトの泳運動中の泳運動効率やパワー発揮を高める競泳選手の骨格筋の調整機序とそれらを可能とする形態的特徴の関係について明らかにすることを旨とした。

- (1) 競泳選手の下肢の骨格・筋腱の形態測定と力学的機能特性の測定を行い、競泳選手における下肢の骨格・筋・腱の形態的特徴について明らかにする。
- (2) 競泳選手のドルフィンキック中の筋腱動態と筋活動、動作の同時測定を行い、接地衝撃のない泳運動での高い運動効率とパワー発揮を可能にする競泳選手特有の筋腱の振る舞いと筋活動の特徴について明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、水中での泳運動中の筋腱動態と競泳選手特有の骨格・筋腱の形態的特徴を調査するため、以下の方法を用いた。

- (1) 水中でのドルフィンキック動作中の筋腱動態を調査するため、防水加工された超音波プローブと特殊な固定具を用いて筋腱動態測定を実施した。また同時に、水中でもデータ収集可能な表面筋電図を用いて筋活動

と、防水加工されたゴニオメータにて関節角度変化を測定する方法を確立した。

- (2) レースペースを意識した泳速度と快適な泳運動が可能な泳速度での水中ドルフィンキック動作中の筋腱動態とその筋活動との比較から、ヒトが高い泳速度を獲得するための筋腱動態と筋の調整機序について考察した。
- (3) 特殊環境下での筋腱動態と筋活動、関節角度変化の測定方法を用いて、免荷装置による加重変化の変化に伴う筋腱動態測定を行い、ヒトが立位姿勢を保持するために行う神経、筋の調整機序について考察した。
- (4) 競泳選手と一般人の下肢の骨格と筋腱の形態測定と等尺性筋力測定による下肢関節の筋腱スティフネス(硬度)を測定し、競泳選手特有の筋形態と関節の硬さとの関係性について検討した。
- (5) 競泳選手のハムストリングス筋群の筋形態を近位から遠位にかけてそれぞれの部位で測定し、競泳選手でみられたハムストリングス筋群の形態的特徴を明らかにすることと、その筋形状と競技パフォーマンスとの関係から推進力を獲得する股関節伸展期群の機能的特性について考察した。
- (6) 競泳選手で多いと報告されている膝関節の過伸展が競泳選手特有のものなのか検討し、陸上での膝関節角度と水中ドルフィンキック中の膝関節角度変化、競技力との関係から、競泳選手の膝関節過伸展と競技パフォーマンスとの関連性について検討した。

### 4. 研究成果

本研究によって、接地衝撃のほとんどないヒトの泳運動において、運動効率やパワー発揮を高める水泳特有の骨格筋の調整と力発揮調整機序について、また、競泳選手でみられた下肢の筋腱の形態的・機能的力学的特性について下記の点が明らかとなった。

- (1) 水中ドルフィンキック中、膝関節の屈曲・伸展に伴って陸上のダイナミックな身体運動で報告されている筋・腱の伸張・短縮サイクルのような振る舞いが確認された。この結果より、接地衝撃がほとんどないとされる水中の泳運動においても陸上で

のダイナミックな身体運動と同様に、より高いパワー発揮や運動効率を可能にするために筋・腱の相互作用を利用している可能性を示唆した。また、レースペースとノーマルペースでのドルフィンキック中の筋腱動態と筋活動の比較より、ヒトは泳速度の増加に伴って腱の弾性の利用を増加させ、運動効率を高めていることが明らかになった。

- (2) 衝撃のほとんどない泳運動において、水泳特有の水の粘性を巧みに利用した“キック動作”において、高齢者のランニング研究(Sano et al. Acta Physiol 215:79-88, 2015)と同様に、効果的に腱の張力を高めるため拮抗筋の共縮活動を利用していたことが明らかになった。
- (3) 日常的に、陸上で接地時の高い衝撃を利用して走運動を行っている陸上競技選手と、陸からの接地衝撃をあまり受けずに水の粘性を利用して泳運動を行っている競泳選手において、下腿三頭筋の筋束や羽状角に違いがみられ、競泳選手が有していた長い筋は、泳運動中の足関節の広い関節可動範囲での力発揮に対応できる可能性を示した。また、本研究の結果、短距離選手よりも競泳選手は柔軟な足関節を有していることが明らかとなった。
- (4) 一般人と陸上競技選手、競泳選手のハムストリングス筋群の筋形状を近位から遠位にかけて測定し、一般人と比較して陸上競技選手と競泳選手ではハムストリングス筋群が太いことが明らかとなり、競技力との関係から、これらの特徴はそれぞれの競技の動作特性と関係していると考えられた。
- (5) 安静立位姿勢時において、免荷に伴って、下腿の二関節筋と単関節筋の共同筋の間で異なる調整がされていることが明らかになった。この結果より、免荷条件の違いによって筋の特異的な調整機序が存在する可能性が示唆された。
- (6) 競泳選手の陸上でみられた膝の過伸展量は競技レベルとは関係がみられなかったが、競技レベルの高い選手ほど泳運動の膝伸展中に膝を過伸展させていたことが明らかとなり、水の抵抗や粘性をうまく利用して推進力を獲得するための動作特性である可能性を示唆した。

## 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)

Oda H, Sano K, Kunimasa Y, Komi PV, Ishikawa M. "Neuromechanical modulation of the Achilles tendon during bilateral hopping in patients with unilateral Achilles tendon rupture, over 1 year after surgical repair." Sports Medicine(47),pp.1221-1230, 2017. (査読有)  
DOI: 10.1007/s40279-016-0629-3

[学会発表](計 9件)

Sano K, Danno Y, Ishikawa M. "Neuromuscular characteristics during dolphin-kick swimming and its functional implication of elastic utilization." 23rd annual Congress of the European College of Sport Science, 2018.

Oono N, Sano K, Kunimasa Y, Makino A, Nicol C, Komi PV, Ishikawa M. "Neuromuscular responses to unweighting at standing." XXXI Congress of the International Society of Biomechanics, 2017.

大野直紀, 佐野加奈絵, 国正陽子, 牧野晃宗, 石川昌紀. 「免荷後の再荷重時における神経-筋腱の応答.」第52回日本理学療法学会大会, 2017年.

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, 2017年.

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, 2017年.

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.

大野直紀, 佐野加奈絵, 国正陽子, 久野峻幸, 牧野晃宗, 石川昌紀. 「荷重量変化に対する神経-筋腱の応答.」日本体育学会第67回大会, 2016年.

Sano K, Makino A, Kunimasa Y, Hiroishi T, Ozaki R, Miyashita A, Sakamoto T, Ishikawa M. "Knee hyperextension caused

by the up-beat dolphin-kick movement."  
21th Annual Congress of European College  
of Sport Science, 2016.

Ishikawa M, Sano K, Kunimasa Y, Makino  
A, Komi PV. "Evidence based sport  
physiotherapy: Unweighting as a tool for  
early return to sport?" 21th Annual  
Congress of European College of Sport  
Science, 2016.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

佐野 加奈絵 (SANO Kanae)  
立命館大学・立命館大学グローバルイノベ  
ーション研究機構・助教  
研究者番号：30762273

### (2)研究協力者

石川 昌紀 (ISHIKAWA Masaki)  
大阪体育大学大学院・スポーツ科学研究科・  
教授  
研究者番号：20513881

国正 陽子 (KUNIMASA Yoko)  
大阪体育大学大学院・スポーツ科学研究科・  
助手  
研究者番号：20804355

牧野 晃宗 (MAKINO Akitoshi)  
大阪体育大学・研究員

上野 薫 (KAMINO Kaoru)  
大阪体育大学大学院

大野 直紀 (OONO Naoki)  
大阪体育大学大学院

小田 啓之 (ODA Hiroyuki)  
大阪体育大学大学院