

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：34205

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23500761

研究課題名(和文)水泳パフォーマンス向上のための浮力・浮心重心間距離の評価と活用

研究課題名(英文)Evaluation and validity of the distance between the center of buoyancy and the center of mass for swimmers

研究代表者

若吉 浩二(Wakayoshi, kohji)

びわこ成蹊スポーツ大学・スポーツ学部・教授

研究者番号：30191729

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水中水平姿勢時での、換気量の変化に応じた手部・足部の鉛直方向の力を計測し、浮力と浮心重心間距離の即時測定システムを構築することを目的とした。加えて、浮心重心間距離と水泳のパフォーマンスとの関係について調査することも目的とした。  
結果は、換気量の変化に対応した手部と足部にかかる力を測定でき、換気量とも直線の関係にあった。よって本システムにより、簡便に水中水平姿勢での浮力と浮心重心間距離を求められた。加えて、水泳選手は、非水泳選手に比べて浮心重心間距離の短い傾向にあることが判明した。以上のことから、本システムは、水泳パフォーマンスの有益な評価法として利用できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：we set our goal to construct a real-time measuring system for the distance (D) between center of buoyancy (CB) and center of mass (CM), measuring the vertical direction of force on the hands and legs corresponding to the changes in the ventilation volume, where the swimmer is in a horizontal posture in the water and is breathing freely with a snorkel, and to examine the relationship between D and swimming performance based on changes in the force exerted in a vertical direction on hands and feet with changes in lung ventilation.

The relationship between the ventilation volume and force exerted in a vertical direction on the hand area and leg area, and D indicated extremely good linearity, respectively. Moreover, D in the neutral buoyancy of the swimmers was significantly shorter than that of non-swimmers. Therefore, it is thought that this measuring system can be utilized as an effective method for evaluating swimming performance.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：水泳 浮力 浮心 重心 パフォーマンス 水平姿勢 換気量

### 1. 研究開始当初の背景

水泳は、水中を水平姿勢で行う運動であり、泳者は、圧力抵抗、造波抵抗、摩擦抵抗の3つを受ける。その中でも最も影響を受けるのが圧力抵抗である(高木 2001)。圧力抵抗とは、泳者の前縁部と後縁部の圧力差であり、推進方向に対し水平姿勢を維持することがポイントとなる。つまり、水平姿勢を維持する要素が、浮力と重力の大小関係と浮心と重心の位置関係といえる。

一般的に水平姿勢時の浮心と重心は“ずれ”があり、浮心は頭部側、重心は足部側に位置することで、下肢が沈むモーメント(水中トルク)が働く(Hay 1993)。浮心重心間距離に関する先行研究では、宮畑と小林(1973)による測定法についての研究、Mcleanら(2000)による性差、肺気量、パフォーマンスによる影響などについて行われている。

また、近年では、2008年北京オリンピックを境に高速水着の出現により、大幅に世界記録が更新された。2009年夏に開催された世界水泳選手権では、43個の世界記録が更新され、それらの水着によるパフォーマンスへの有効性は、白木と若吉(2009)によって示され、水着の性能が顕著に圧力抵抗軽減に働いたものと推察している。しかし、競技会での高速水着の使用は禁止された。

よって、これらの経緯から、本研究の着眼点は、『泳者の浮力と重力、浮心と重心の関係を定量化し、さらに泳者が着用する水着に物理的な効果を生む機能を保持することで、より効率的に泳ぐことが可能になるのでは?』、また『水着ではなく、腹式呼吸法トレーニングによっても同様な可能性があるのでは?』ということである。

### 2. 研究の目的

(1) 肺気量変化に伴う浮力・浮心重心間距離の即時測定システムの構築

Mcleanら(2000)やZamparoら(1996)とは異なり、新たな手法としての肺気量の変化に伴う浮力・浮心重心間距離を、短時間に測定するシステムを構築することである(図1・写真2 浮力・浮心-重心間距離の測定システム)。また、本システムを用いて、水泳得意者群と不得意者群との比較を行う。

(2) 有浮力水着が浮力・浮心重心間距離および泳距離に及ぼす影響

本研究では、浮力レベルおよび形状の異なる水着が、肺気量の変化に伴う浮心重心間距離に及ぼす影響を調査し、加えてパフォーマンス実験として泳距離に及ぼす影響について調査する。これらの結果から、水泳の技術レベルに応じた有浮力水着の有用性について検証することを目的とする。

(3) 有浮力水着が浮力・浮心重心間距離お

よび水泳パフォーマンスに及ぼす影響

本研究では、有浮力水着の着用が、肺気量の変化に伴う浮心重心間距離に及ぼす影響を調査し、競技者群には血中乳酸によるパフォーマンステストを行い、有浮力水着の有用性について検証することを目的とする。

(4) 腹式呼吸トレーニングによる浮心重心間距離およびパフォーマンスに及ぼす影響

胸式呼吸に比べ、腹式呼吸は横隔膜が腹部に下げられることから、浮心位置は、頭部側から足部側に移動することになり、浮心重心間距離が短縮する可能性がある。これは有浮力水着の着用と同じ現象となる。そこで、ここでは、腹式呼吸トレーニングが、浮心重心間距離に及ぼす影響を調査し、さらには血中乳酸によるパフォーマンステストを行い、そのトレーニングの有効性について検証することを目的とする。

(5) 身体障害(肢体不自由)者の浮力・浮心重心間距離の測定と有浮力水着着用の有効性

二分脊椎症を有する障害者の運動としてよくあげられるのが水泳である。しかしながら、脊椎の形成不全である二分脊椎症とは、症状によって股関節の拘縮がみられるため、水平姿勢の保持が困難となる。

そこで、二分脊椎症を有する障害者を対象に、本研究は普通水着と有浮力水着を着用した際の、手部と足部の浮力バランスの変化を測定し、有浮力水着を着ることで、楽に安全に運動の質を向上できるか検証することを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 図1に、浮力・浮心重心間距離測定システム(WAKACO)を示す(写真2)。被験者は、全身が水面近くに浸水したけ伸び姿勢を取る。手部は、水上から吊り下げられたグリップを握り、足部は、同じく水上から吊り下げられた固定盤に挟むことで、姿勢を保持する。それぞれには、荷重センサが取り付けられ、手部と足部の鉛直方向の荷重を計測することができる。また、換気量を測定するために、被験者はスノーケルから呼吸を行い、スノーケルの先端部に呼吸センサを取り付けた。手部と足部の荷重変化と換気量の変化は、同期されている。

身体重心位置測定(写真1)は、図2Aに示すように、陸上における伏臥位上肢拳上姿勢にて行う。重心位置は、足部(外果)と手部(握り拳の中心)の距離をx、足部と重心位置の距離をyとし、体重(W)と手部にかかる力(F)にて下記の式より求めることができる。

$$y \cdot W = F \cdot x$$

$$y = F \cdot x / W$$

浮力と浮心位置の測定について、説明する。水中で静止した水平姿勢を保持していることから、下記の式により浮力 (B) を求めることができる。

$$B+W+F_1+F_2=0$$

$$B=-W-F_1-F_2$$

足部からの浮心位置 (z) は、下記の式より求めることができる。

$$F_1x+Bz-Wy=0$$

$$z=F_1x+Wy/B$$

また、水中水平姿勢での浮心重心間距離は、下記の式により求めることができる。

$$-F_1(x-y)-W(z-y)=-F_2y$$

$$z-y=(F_1x-F_1y-F_2y)/W$$

さらに、本装置を用いて、水泳得意者と不得意者の比較を行う。

(2) 有浮力水着が浮力・浮心重心間距離および泳距離に及ぼす影響

被験者は、水泳が苦手な男子学生 9 名を対象とした。陸上にて身体重心位置を測定した。次に、NS (普通水着)、1mm (浮力約 2N)、3mm (浮力約 5N)、5mm (浮力約 10N) の 4 種類の水着を着用して浮力・浮心測定を行った。最大吸気、最大吸気の 70%、50%、30%、そして、最大吐気の計 5 点の測定を行った。さらに、水着による浮力および浮心重心間距離を検証するため、5 分間泳を行った。

(3) 有浮力水着が浮力・浮心重心間距離および水泳パフォーマンスに及ぼす影響

被験者は大学水泳部所属する男性選手 7 名 (自由形 4 名、個人メドレー 2 名、バタフライ 1 名) とした。200m×4 回の漸増負荷泳を実施し、泳後の心拍数と血中乳酸測定を行った。着用水着は、NS (普通水着)、1mm (浮力約 2N)、3mm (浮力約 5N)、5mm (浮力約 10N) の 4 種類とした。泳速度を一定に保つためにペースメーカーを使用し、運動強度の一定化を図った。強度は、最高努力泳実施そのタイムから 85%・90%・95% の計 4 階で行った。血中乳酸測定は、泳後 30 秒後に測定を行い、最高努力泳時は 3 分後にも測定を行った。その数値が上昇していれば、5 分後に測定を行った。分析には、Lactate Pro (アークレイ社製) を用いた。

(4) 腹式呼吸トレーニングによる浮心重心間距離およびパフォーマンスに及ぼす影響

被験者は、本学水泳部に所属する男子選手 14 名とした。重心位置および浮心重心間距離は (1) の方法で行った。Pre と Post の間に腹式呼吸トレーニングとして、不安定姿勢や水中において腹式呼吸が出来るように、陸上でバランスボール上や水中でスノーケルを装着して行った。

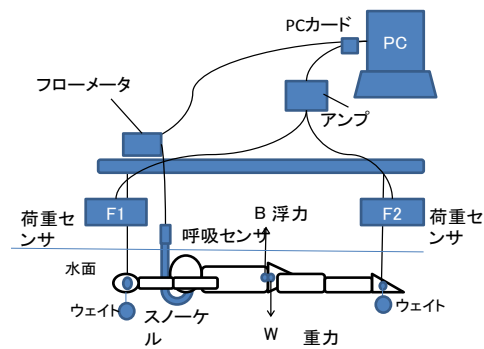


図 1 浮力・浮心重心間距離測定システム (WAKACO)

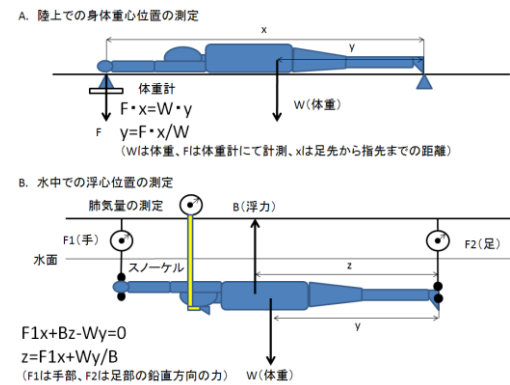


図 2 重心位置 (A) と浮心位置 (B) の測定方法



写真 1 体重および重心位置の測定



写真 2 浮力・浮心重心間距離の測定

(5) 身体障害（肢体不自由）者の浮力・浮心重心間距離の測定と有浮力水着着用の有効性

本学で行われている障害のある方への水泳教室に参加している二分脊椎症の女性1名とした。

重心測定は、陸上で身長・体重を測定し、合わせて重心位置を算出した。浮力・浮心の変化は、浮力浮心測定システム(WAKACO)を用いて行った。普通水着と有浮力水着(5mm)の2種類を着用し、有浮力水着の有無による心拍数の変化は、心拍計(PORAL)を用いて計測した。運動の質を検証する際、運動量の変化で評価した。

#### 4. 研究成果

(1) 換気量の変化に対応した手部と足部にかかる力(手部F1、足部F2)を測定することができた。また、換気量とF1およびF2とも直線の関係を示した。本結果は、Wakayoshiら(2010)の先行研究と同様な傾向を示した。本システムにより、簡便に水中水平姿勢での、浮力と浮心重心間距離を求めることが可能となった。

図3は、WAKACOによる、手部と足部の鉛直方向の荷重および換気量の変化を示す。換気量の変化に伴い、手部と足部の荷重も同調していることがわかる。

図4は、換気量と手部および足部の荷重の関係を示す。双方とも、顕著な直線の関係を示すことがわかる。また、図5は、換気量と浮心重心間距離、換気量と総荷重との関係を示す。浮心重心間距離は、呼気時に短縮傾向、吸気時に拡大傾向がみられる。その範囲は、約1~2.4cmとなった。中性浮力時には、1.6cmとなった。

本装置を用いることで、換気量の変化に伴って、浮力および浮心重心間距離が変化することが判明した。今後は、水泳選手であれば、ジュニアからシニア選手へ、また他のスポーツ選手における特徴などを、調査研究していきたいと考える。

このシステムを用いて、水泳得意者と不得意者の浮心重心間距離は、それぞれ11.4±1.6mmと18.5±8.8mmとなり、両者に大きな差がみられ、特に得意者群は、その距離が短く、不得意者群に比べ、足沈み現象が少なく、水泳姿勢の取りやすいことが判明した。また、有浮力水着を着用時では、浮力と重力が同等での浮心重心間距離は、ノーマル水着着用で1.43±0.13cmの場合、有浮力水着(7-8N)で0.84±0.14cmとなり、より短縮されることが判明した。これは、有浮力水着着用によって、より水泳姿勢が取りやすくなることを意味する。

けのび動作について、10m通過時間は、ノーマル水着着用時8.62±0.98秒、有浮力水

着時7.91±0.79秒、完全静止までの移動距離は、ノーマル水着着用時1.23±0.12cm、有浮力水着時1.43±0.07cmと顕著な改善傾向が示された。

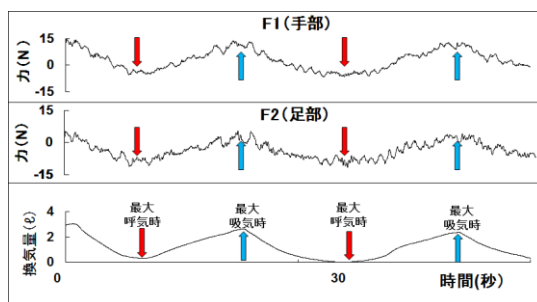


図3 浮力・浮心重心間距離測定システム(WAKACO)

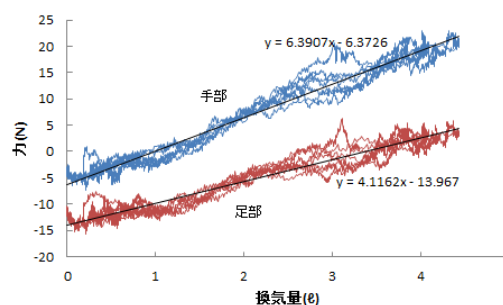


図4 換気量と手部・足部の関係

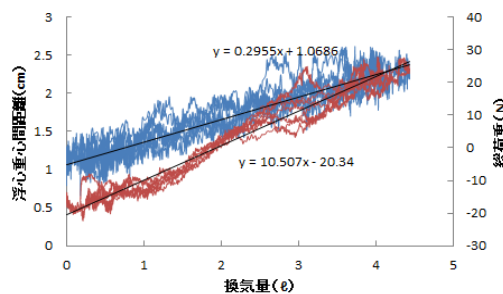


図5 換気量と浮心重心間距離および総荷重の関係

(2) 有浮力水着が浮力・浮心重心間距離および泳距離に及ぼす影響では、水着の浮力が増えるにしたがい、中性浮力時における浮心重心間距離は顕著に短縮し、また5分泳は顕著に増加傾向を示した(図6)。このことから、有浮力水着は、浮心重心間距離の短縮に効果があり、水中トルクを軽減させ、水泳不得意者によるみられる足沈みを軽減させる効果があり、それに伴って5分間泳距離が延



びたものとする。

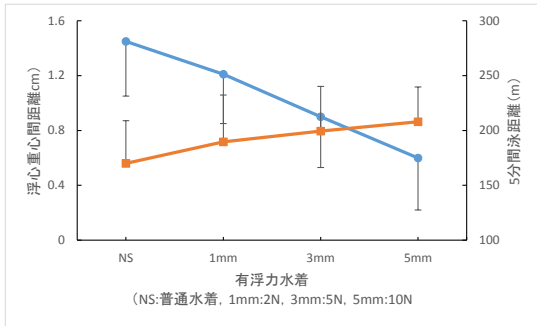


図6 有浮力水着の浮力の違いによる浮心重心間距離と5分間泳距離への影響

(3) 有浮力水着が浮力・浮心重心間距離および水泳パフォーマンスに及ぼす影響では、4つの水着とも泳速の増加に伴い、血中乳酸濃度は有意に増加した。また、有浮力水着着用に伴い、図6にあるように、中性浮力時の浮心重心間距離の短縮の影響から、普通水着と比べ、血中乳酸カーブが右側にシフトしていることがわかる。最も速く泳ぐことができた水着は1mmで浮力約2Nのものであった。有浮力水着を着用することで、概ね50m当たり、0.8秒短縮する傾向がみられた。このことから、水泳競技者において、有浮力水着の着用は、より低抵抗姿勢を作り出すことに役立っており、高速トレーニングの一環として活用し得るものとする。

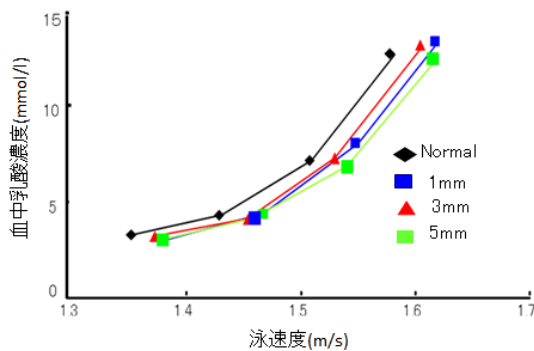


図7 普通水着と有浮力水着における血中乳酸カーブテスト

(4) 腹式呼吸トレーニングによる浮心重心間距離およびパフォーマンスに及ぼす影響では、腹式呼吸トレーニングを行うことで、トレーニング前後で浮心重心間距離の0.81cmの有意な短縮がみられた(図8)。それに伴い、けのびテストにおいて、水平姿勢保持時間で7.52秒の向上など、全測定項目で記録の向上がみられたが有意差はみられなかった。浮心重心間距離の有意な短縮は、水中トルクの軽減に大きく影響し、それがけ

のびテストの結果に好影響を及ぼしたものと推察させる。

よって、腹式呼吸トレーニングでの浮心重心間距離の短縮は、けのび動作だけでなく泳中においても応用できるものと考えられる。

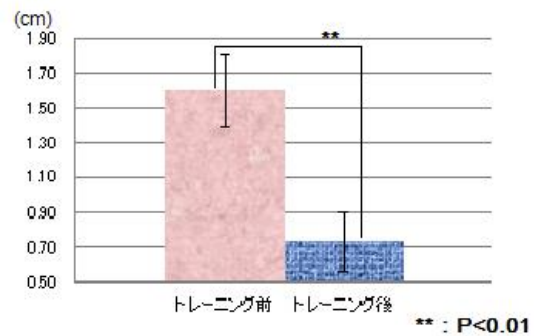


図8 腹式呼吸トレーニングに伴う浮心重心間距離の変化

(5) 身体障害(肢体不自由)者の浮力・浮心重心間距離の測定と有浮力水着着用の有効性では、二分脊椎症患者の浮心重心位置は本来の位置と逆転しているとされている。そこで、有浮力水着を上下着用することで、下肢の浮力が増し、安全な呼吸の確保が困難となる。しかし、図9の結果から、呼吸による身体の浮き沈みが軽減し、一定の位置で泳ぐことが可能となった。

有浮力水着を着用したことで腰が水面近くになり、抵抗が減り泳ぐ距離が増加した。また、有浮力水着を着用し、背泳ぎを泳ぐことが可能になるなど運動の幅が広がった。

有浮力水着を用いたことで、圧力抵抗が軽減される。そして、運動距離を伸ばすことが可能となる。

改善点として、障害の特性に合わせて浮力を与える身体部位を考慮する必要がある。

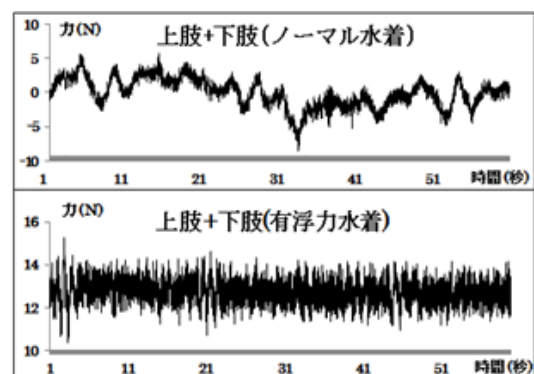


図9 普通水着と有浮力水着着用時における手部と足部の鉛直方向の合力

<引用文献>

- ① Chatard, J.C., Collomp, C., Maglischo, E. and Maglischo, C. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 11, 156-161.
- ② Cureton, T.K. (1933). Natural and artificial buoyancy, flotation and body balance in the water. *Beach and Pool*, 7, 272, 282-287.
- ③ Gagnon, M. & Montpetit, R. (1981). Technological development for the measurement of the center of volume in the human body. *Journal of Biomechanics*, 14, 235-241.
- ④ Hay, J.G. (1993). *The biomechanics of sports technics* (4th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- ⑤ McLean, S.P. & Hinrichs, R.N. (2000). Influence of arm position and lung volume on the center of buoyancy of competitive swimmers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71(2), 182-189.
- ⑥ Maglischo, E. W. (1993). *Swimming Even Faster*, Mayfield.
- ⑦ Watanabe Y., Wakayoshi K., Nomura T., Tachi M.: The Effect of Breathing on the Distance Between Center of Buoyancy and Center of Mass in Competitive Swimmers. *SPORT MONT*, 40, 41, 42. /XII, 98-104, 2014.
- ⑧ Zamparo, P., Antonutto, G., Capelli, C., Francescato, M.P., Girardis, M., Sangoi, R., Soule, R.G. & Pendergast, D.R. (1996). Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 6, 273-280.

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2件)

- ① Watanabe Y., Wakayoshi K., Nomura T., Tachi M.: The Effects of Breathing on Center of Buoyancy and Buoyancy Torque in Junior Elite Swimmers. *Proceeding of the 1st Asia-Pacific Conference on Coaching Science (Web Journal)*, 127-128, 2015.
- ② Watanabe Y., Wakayoshi K., Nomura T., Tachi M.: The Effect of Breathing on the Distance Between Center of Buoyancy and Center of Mass in Competitive Swimmers. *SPORT MONT*, 40, 41, 42. /XII, 98-104, 2014 (査読あり).

[学会発表] (計7件)

- ① 若吉浩二, 渡邊泰典, 白木孝尚: 学生スイマーと水泳不得意学生を対象とした肺気量変化に伴う浮力および浮心重心間距離の比較. 日本体育学会第65回大会, 岩手, 2014/08/28.
- ② Watanabe, Y., Wakayoshi, K., Shiraki, T.: Real-time Measuring System of the Distance Between the Center of Buoyancy and the Center of Gravity for Swimmers. XIIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming, Canberra, Australia, 28<sup>th</sup> April - 2<sup>nd</sup> May 2014.
- ③ Watanabe, Y., Wakayoshi, K., Shiraki, T., Tachi, M., Nomura, T.: The Effect of Breathing on the Distance Between Center-of-buoyancy and Center-of-mass in Competitive Swimmers. 11<sup>th</sup> International Scientific Conference on Transformation Processes in Sport "SPORT PERFORMANCE", Podgorica, Montenegro, 3<sup>rd</sup> - 6<sup>th</sup> April 2014.
- ④ 渡邊泰典, 白木孝尚, 若吉浩二, 来田宣幸, 野村照夫: 練習用有浮力水着は水中水平姿勢保持にどのように作用するか?—浮心重心間距離とパフォーマンスとの関係—. 第68回日本体力医学会大会, 東京, 2013/09/21.
- ⑤ 若吉浩二, 渡邊泰典, 白木孝尚: 浮力・浮心重心間距離の即時測定システムの構築. 2012年度日本水泳・水中運動学会年次大会, 福岡, 2012/10/21.
- ⑥ 渡邊泰典, 若吉浩二, 白木孝尚: 意図的な呼吸方法の質的変容は浮心-重心間距離の短縮に作用するのか. 2012年度日本水泳・水中運動学会年次大会, 福岡, 2012/10/20.
- ⑦ 若吉浩二, 渡邊泰典: 水泳選手における腹式呼吸トレーニングは浮心位置を変えることができるか?. 第67回日本体力医学会大会, 岐阜, 2012/09/15.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

若吉 浩二 (WAKAYOSHI, Kohji)  
びわこ成蹊スポーツ大学・スポーツ学部・教授  
研究者番号: 30191729