

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16521

研究課題名(和文)水中環境での日常生活動作の動作・筋活動調査およびフィードバックツール開発の試み

研究課題名(英文)EMG and motion analysis of ADL motion during submerged condition and development of feedback tool

研究代表者

金田 晃一(KANEDA, Koichi)

千葉工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号：10534589

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):本研究は水中環境での立ち上がりおよび段差昇り動作について、動作と筋活動を計測し、陸上環境と比較した。立ち上がり動作では筋活動は水中でおよそ低値を示し、動作は両環境で類似した。異なる水深における調査では、水深が浅くなるにつれ筋活動は陸上に近づき、動作は水深に関係なく高い相関を示した。段差昇り動作では水中は低刺激かつ陸上と同等あるいは高い筋負荷を与えることができ、膝関節と股関節の可動域は大きかった。水中での立ち上がりおよび段差昇り動作は、動作能力の低下予防や再獲得に向けた有効な手段である可能性が示唆された。また、最終年度にはデータのフィードバックアプリケーションの開発も行なった。

研究成果の概要(英文):This study investigated EMG and motion during standing and stepping motions in submerged and non-submerged conditions. In the standing motion, the submerged condition showed lower EMG and similar motion between two conditions. In addition, EMG pattern in the submerged condition became close to the non-submerged condition in according to the immersed level was decreased. The mean EMG was lower but integrated EMG was similar or higher in the submerged condition than the non-submerged condition when stepping motion was conducted with larger knee and hip joint range of motion. Therefore, the standing and stepping motions in the submerged condition seemed to be a effective exercise for preventing and regaining these motion's ability in real world condition. The development of application software for data feedback has also been conducted in the last year.

研究分野：応用健康科学

キーワード：水中運動 筋活動 動作解析 日常生活動作 フィードバック

1. 研究開始当初の背景

空気の約 800 倍の密度を持つ水中環境では、浮力によって陸上環境では困難な動作が比較的容易に可能となり、抵抗によってあらゆる方向への動作に対して骨格筋を刺激できる。従って、水中環境は特に、低下・喪失した動作の改善や再獲得を目的とした機能回復訓練の手段としての効果が高いと言われている (Sato et al., 2007)。中でも歩行や立ち上がり、段差昇降などの起居・移乗移動動作に関して、水中環境でのこれらの動作の反復練習が要支援・要介護認定者の日常生活動作や生活の質を改善させたことを、研究代表者を含む研究グループは報告した (Sato et al., 2011)。起居・移乗移動動作のうち、最も基本動作である歩行についての水中環境における動作や筋活動などの特徴は、研究代表者を含む多くの研究で明らかにされており (Barela et al., 2008; Kaneda et al., 2008; 2009)、特に身体機能低下者に対する歩行訓練として有用であるといわれている (Sato et al., 2007)。しかし、水中環境での立ち上がりおよび着座や段差昇降の動作や筋活動の特徴は明らかにされていない。立ち上がりおよび着座動作や段差昇降動作は自立した生活を営む上でも重要な能力であり、これらの能力の低下は転倒との関連も深い (Gross et al., 1998; Stacoff et al., 2005)。よって、水中環境での立ち上がりおよび着座や段差昇降の動作や筋活動の特徴を明らかにすることは、起居・移乗移動動作の改善や再獲得を目的とした水中環境での機能回復訓練の有用性を提案でき、実践の場面に多に役立つ。

目的動作の反復は運動習熟において重要な要素の一つであり (Bernstein, 2003)、動作の類似性は機能回復訓練においても重要であると考えられる。水中歩行に関する多くの先行研究は、図上での主観的評価で陸上歩行との類似性が評価されてきた (Barela et al., 2008)。そこで研究代表者は水中歩行と陸上歩行の下肢動作の類似性について、音声認識手法の一つである動的時間伸縮法を用いて客観的に評価し、水中歩行の下肢動作は陸上歩行と良く類似しており、水中歩行の股関節伸展動作の強調がさらに類似性を高める可能性を示した (Kaneda et al., 2012)。これまで多く行われてきた平均値比較などと合わせて、このような類似性の検討を客観的に行うことで、起居・移乗移動動作の機能回復訓練に対する有用性が提案できると考えた。

機能回復訓練をさらに効果的にするには、実施した動作がどのように行われ、目的動作をどの程度再現できていたかをできるだけ即座に運動者や指導者にフィードバックすることが必要である。水中動作を目視で正確に捉えることは困難であり、かつ筋活動の様子はほぼ不明である。また、水中環境での計測は防水面や金銭面において特に一般に普

及させる上では障害が多い。しかし近年、小型で軽量の慣性センサを用いた動作計測が行われており、最近では防水型の慣性センサが開発され水泳動作の計測も行われている (Ohgi, 2006)。慣性センサは高価で大型な機械を用いず動作を計測でき、ワイヤレス通信による時系列データの記録技術も開発されているため、今後、リハビリテーションから競技スポーツまで様々な場面でのワイヤレスセンサを用いた動作の即時フィードバックへの活用が期待されている (太田ら, 2009)。また筋電センサもワイヤレス化され、動作だけでなく動作を生み出す筋活動の計測も比較的容易に計測が可能となった。研究代表者は水中歩行時の代謝量を慣性センサから明らかにする研究も行ってきた (Kaneda et al., 2010; 2014)。今後、ワイヤレスセンサを動作計測に用いるだけでなく、データを視覚的に理解しやすい情報に変換し、できるだけ即座に運動者や指導者にフィードバックする方法を検討することが効果的な機能回復訓練には重要である。特に本研究ではワイヤレスセンサによる計測データを即時に ICT (iPad などの携帯型電子端末) に送信、分析し、データを表示するツールの開発も目指す。

2. 研究の目的

本研究では水中環境での立ち上がりおよび着座動作と段差昇降動作の特徴について、動作および筋活動を計測し、陸上での同動作との比較によりその特徴を特に類似性の観点から明らかにし、さらに、水中環境での機能回復訓練で役立つフィードバック方法の開発について検討していく。

3. 研究の方法

(1) 水中環境および陸上環境における立ち上がりおよび着座動作ならびに段差昇降動作時の動作・筋活動計測 (1 年度目および 2 年度目)

本研究では、18 歳以上の健常な男性 26 名 (再試験含) を対象とした。

対象者は、40cm の台上での立ち上がりおよび着座動作、20cm の台上および 40cm の台上での段差昇降動作を、陸上環境および水中環境で行った。特に、水中環境では、水位の違いによる影響をも検討するため、40cm の台上にさらに 40cm の台を置き、その上での立ち上がりおよび着座動作も実施した。また、20cm の台上から 40cm の台上にかけての段差昇降動作も加えて実施した。従って、水中環境での立ち上がりおよび着座動作は 2 試技 (陸上環境は 1 試技)、段差昇降動作については 3 試技 (陸上環境は 2 試技) 実施した。全ての試技は、対象者の主観による普通のペースにて実施した。また、それぞれの試技は 2 回ずつ実施した。加えて、全ての試技内ではそれぞれ 5 回ずつ動作を反復した。

各試技を実施中、側方からモーションキャ

プチャーシステム (VENUS3D, ノビテック社製) および自発光 LED マーカー (煌, ノビテック社製) を用いてサンプリング周波数 100Hz で動作の計測を行った。自発光 LED マーカーは対象者の右側における第五中足骨骨頭, 外果, 大腿骨外側顆, 大転子, 腸骨稜の中心, 肩峰に貼付けた。

筋活動の計測については, ワイヤレス筋電センサ (SS-WS1221, スポーツセンシング社製) を用い, サンプリング周波数 1000Hz で計測した。センサは対象者の右下肢における前脛骨筋 (tibialis anterior: TA), 腓腹筋内側頭 (medial gastrocnemius: GAS), 大腿直筋 (rectus femoris: RF), 大腿二頭筋長頭 (the long head of the biceps femoris: BF) に貼付けた。センサの上からフォームパッド (日本光電社製) およびドレッシングテープ (共和社製) を用いて防水処置を行った。

本研究ではさらに, 慣性センサを用いて動作の計測も行った。慣性センサはスポーツセンシング社製のものを用い, 対象者の背部, 右側の大腿部, 下腿部, 足部に貼付けた。サンプリング周波数 100Hz で計測した。

(2) データを視覚的に理解しやすい情報に変換してフィードバックするツールの開発 (3 年度目)

本研究では, 1 年度目および 2 年度目に取得したデータをもとに, データを視覚的に理解しやすい情報に変換してフィードバックするツールの開発に取り組んだ。

視覚的に理解しやすい情報として, 動的時間伸縮法を用いた分析を行う PC アプリケーションの開発を行った。

あらかじめアプリケーションの素案をパワーポイント上で作成し, これをもとに計測データファイルの読み込み 平均値・標準偏差・2 データ分の波形・動的時間伸縮法による結果それぞれを計算および表示させ, さらに結果を出力できるようにした。

アプリケーションの開発には Python を用いた。

4. 研究成果

(1) 水中環境および陸上環境における立ち上がりおよび着座動作ならびに段差昇降動作時の動作・筋活動計測 (1 年度目および 2 年度目)

立ち上がり動作時の動作・筋活動

実験を行なった全対象者のうち, 健常な男性 14 名を対象に, 立ち上がり動作時の動作および筋活動を陸上環境と水中環境で比較した。水中環境は水深 1.0m のものを対象とした。

下肢と体幹の筋活動は, 前脛骨筋を除く全ての筋が水中環境で陸上環境と比較して有

意に低値を示した (図 1)。

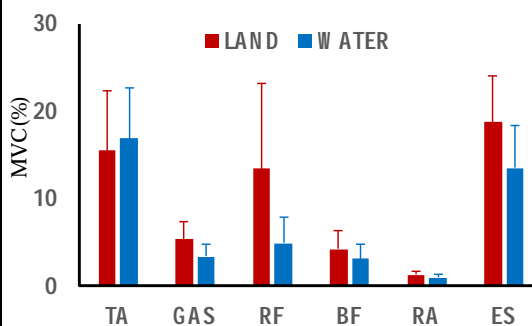


図 1. 下肢および体幹筋活動

このことから, 水中環境での立ち上がり動作は下肢および体幹の筋に対して概ね低負荷であることが明らかとなった。

次に, 各関節の角度変化を示す (図 2, 3, 4)。相関係数は, 足関節と膝関節が 0.99, 股関節が 0.97 であった。

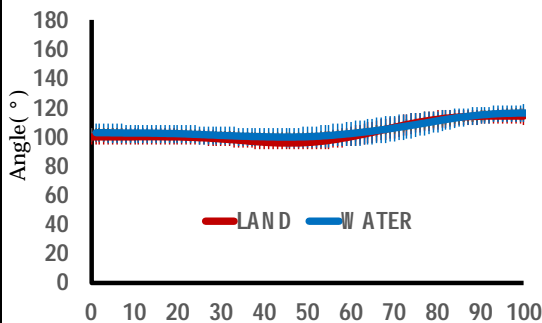


図 2. 足関節の角度変化

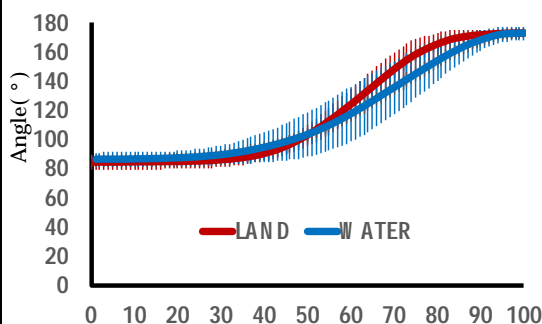


図 3. 膝関節の角度変化

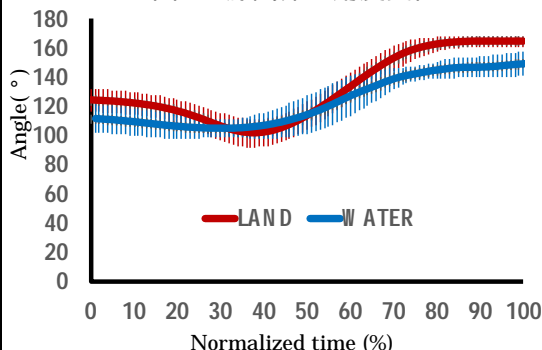


図 4. 股関節の角度変化

このことから, 水中環境での立ち上がり

動作は陸上環境での立ち上がり動作をよく再現できていると考えられた。

また、体幹の鉛直方向に対する傾きは、動作開始時に水中環境が陸上環境と比較して有意に前傾していた。このことから、水中環境では後傾位を意識して動作を開始することが必要であると考えられた。

次に、実験を行なった全対象者のうち、健康な男性 12 名を対象に、立ち上がり動作時の動作および筋活動について、水位の変化による違いを検討した。水中環境は、水深 1.0m および水深 0.6m とした。

各筋の筋活動のパターンを図 5 に示した。陸上環境と水深 0.6m の相関係数は、TA で 0.96, GAS で 0.61, RF で 0.78, BF で 0.86 であった。陸上環境と水深 1.0m の相関係数は、TA で 0.86, GAS で 0.14, RF で -0.01, BF で 0.61 であった。

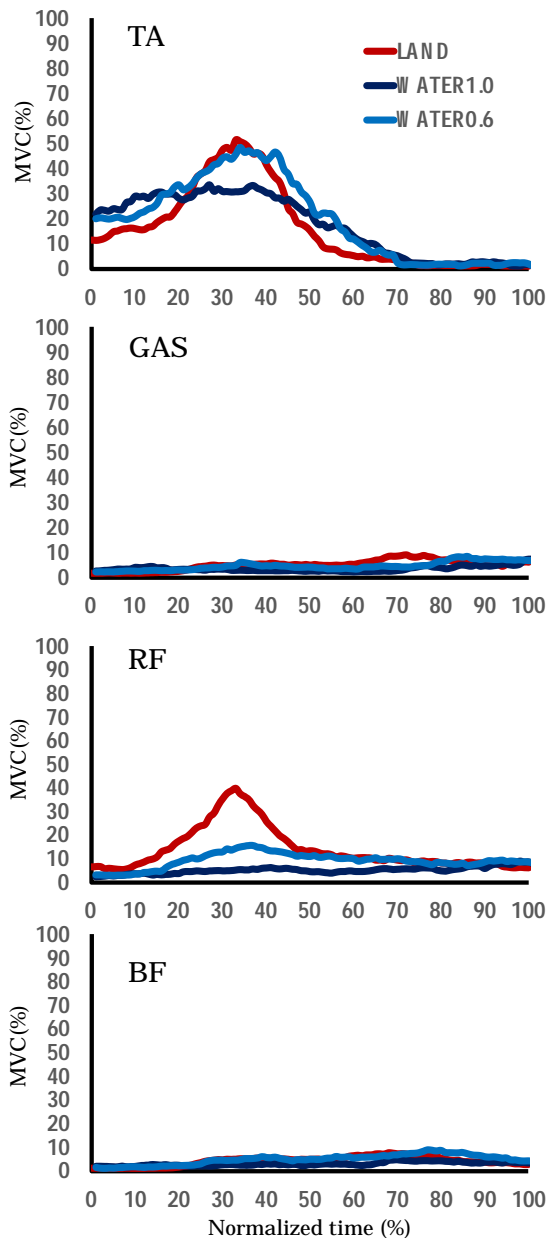


図 5 . 各筋の筋活動変化

計測した全ての骨格筋において、水深 0.0m-1.0m 間と比較して水深 0.0m-0.6m 間では相関係数が高い値を示した。つまり、水深 0.6m では水深 1.0m と比較して椅子立ち上がり動作時の筋活動が陸上環境での同動作と似通っていると考えられた。

下肢3関節の3段階の水深それぞれにおける関節角度のパターンを図6に示した。陸上環境と水深0.6mの相関係数は、足関節で0.97, 膝関節で $0.99 < r < 1.00$, 股関節で0.99であった。陸上環境と水深1.0mの相関係数は、足関節で0.99, 膝関節で $0.99 < r < 1.00$, 股関節で0.95であった。

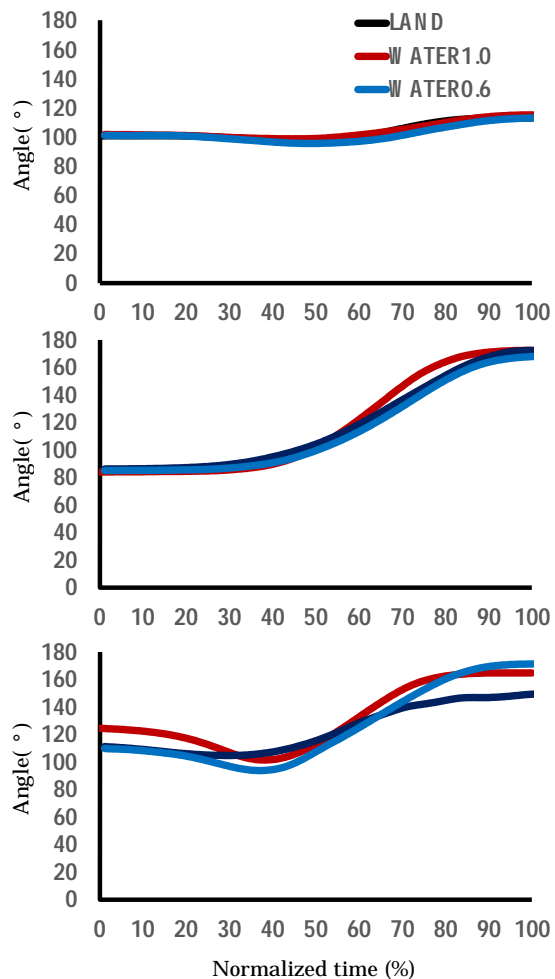


図 6 . 下肢 3 関節の角度変化

全て相関係数が 0.95 以上と非常に高い値を得たことから、水深に関係なく水中環境での立ち上がり動作は陸上環境と非常に似通っていることが明らかとなった。

以上のことから、水中運動プログラムとして、体力レベルに合わせて徐々に水深を陸上環境に近づけて行くことが重要であることが推察された。

段差昇降動作時の動作・筋活動

実験を行なった全対象者のうち、健康な男性 12 名を対象に、段差の昇り動作時の動作および筋活動を陸上環境と水中環境で比

較した。水中環境は水深 1.0m で、段差の高さは 40cm のものを対象とした。

その結果、腓腹筋内側頭、大腿直筋、腹直筋は水中環境で低い平均筋活動量を示し、脊柱起立筋は水中環境で高い平均筋活動を示した(図7)。また、積分筋活動は、大腿直筋を除く筋において陸上環境と水中環境は同等もしくは水中環境は高い値を示した(図8)。

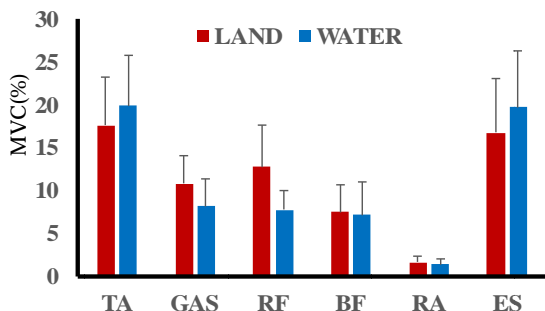


図7. 各筋の平均筋活動

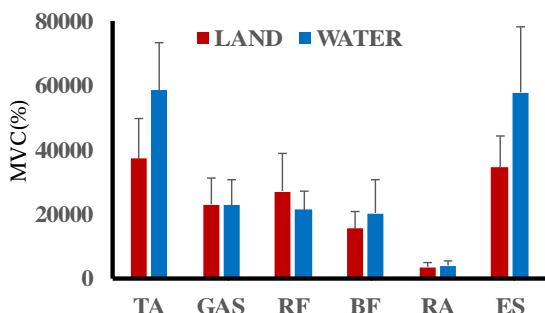


図8. 各筋の積分筋活動

以上のことから、水中環境での立ち上がり動作では、脊柱起立筋を除く筋へは低刺激であるが両環境で同等もしくは水中環境の方が高い負荷を与えることができると考えられた。

さらに、下肢三関節および体幹の鉛直軸に対する前傾角度の範囲(ROM)は、膝関節と股関節において水中環境が大きくなった(図9)。

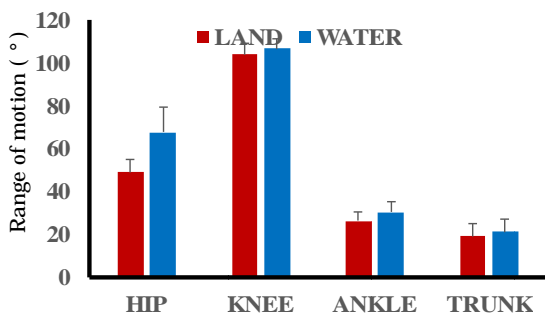


図9. 各関節の角度変化(ROM)

以上のことから、水中環境での段差昇り動作は、主に浮力の影響を受けるが、総合的には低刺激かつ高い筋負荷を与えることができるため、主に日常生活動作能力の低下予防や際獲得のための運動手段として有

用である可能性が示唆された。

(2) データを視覚的に理解しやすい情報に変換してフィードバックするツールの開発

開発したアプリケーションの画面を図10に示す。

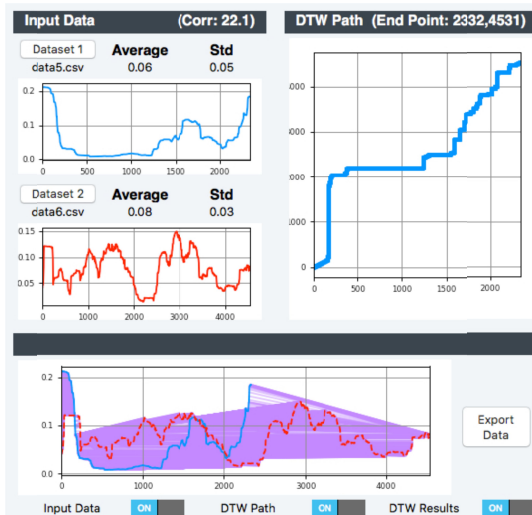


図10. 開発したアプリケーションの画面

図10では以前に取得したデータを2件読み込み(図10左上の上段および下段)、そのデータそのものを表示し、同時に平均値および標準偏差を算出している。また、2つのデータを読み込むと同時に自動的に動的時間伸縮法による解析を行なっている(図10右上)。さらに、動的時間伸縮法によって対応付けられた2波形が関係する部分を示している(図10下)。

作成後、研究代表者によるヒューリスティック評価により、2波形の相関係数の算出、動的時間伸縮法による計算結果の最終点における2波形の差分それぞれの表示を行うことが次の課題としてあげられ、また、現時点では動的時間伸縮法によって対応付けられた2波形が関係する部分を示す図については理解が得られにくいいため、改善が必要であることが考えられた。

今後、再度アプリケーションを開発し、ほかの研究者によるヒューリスティック評価や、一般の人を対象にしたスクリーニング調査が必要である。

<引用文献>

- ・ Sato D et al. The water exercise improves health-related quality of life of frail elderly people at day service facility. Qual Life Res, 16(10), 1577-1585, 2007.
- ・ Barela A, et al. Biomechanical characteristics of elderly individuals walking on land and in water. J Electromyogr Kinesiol, 18, 446-454, 2008.
- ・ Kaneda K, et al. Lower extremity muscle activity during deep-water running on

self-determined pace. J Electromyogr Kinesiol, 18(6), 965-972, 2008. {
・Kaneda K, et al. EMG activity of hip and trunk muscles during deep-water running. J Electromyogr Kinesiol, 19(6), 1064-1070, 2009.
・Gross M, et al. Effect of muscle strength and movement speed on the biomechanics of rising from a chair in healthy elderly and young women. Gait Posture. 8, 175-185, 1998.
・Stacoff A, et al. Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age. Gait Posture. 21, 24-38, 2005.
・Mann R, et al. The initiation of gait. J Bone Joint Surg Am. 61(2), 232-239, 1979.
・Kaneda K, et al. A comparison of lower limb joints angular displacement between land and water-walking using dynamic time warping. Scientific Proceedings of the 30th International Conference on Biomechanics in Sports, 331-334, 2012.
・Bernstein NA. 工藤和俊/訳, 佐々木正人/監訳. デクステリティ巧みさとその発達. 金子書房. 東京. 2003.
・Ohgi Y. Pattern matching application for the swimming stroke recognition. Portuguese Journal of Sport Sciences. 6(Supl.2), 69-70, 2006.
・太田憲ら. 小型センサを用いたハンマー投のトレーニング-サイバネティック・トレーニングを目指して-. スポーツ工学 .4, 7-12, 2009.
・Kaneda K, et al. Estimation method for energy expenditure by acceleration of human head during water walking. In: Per-Ludvik, K., Robert, K.S., Jan, C. (Eds.), Biomechanics and Medicine in Swimming XI, 366-368, 2010.
・Kaneda K, et al. The development of an estimation model for energy expenditure during water walking by acceleration and walking speed. J Sci Med Sport, 17, 96-101 2014.

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 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

金田晃一, 足立哲. 段階的な水位減少による立ち上がり動作訓練の可能性~動作および筋活動による検討~. 2017年日本水泳・水中運動学会年次大会, 東京 (ナショナルトレーニングセンター・国立スポーツ科学センター), 10, 2017.

金田晃一. 水中環境での椅子立ち上がり

動作時の動作および筋活動の特徴. 第 72 回日本体力医学会学会大会, 松山, 9, 2017.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ヤマハ最優秀論文発表賞. 金田晃一, 足立哲. 段階的な水位減少による立ち上がり動作訓練の可能性~動作および筋活動による検討~. 2017年日本水泳・水中運動学会年次大会, 東京 (ナショナルトレーニングセンター・国立スポーツ科学センター), 10, 2017.

6. 研究組織

(1)研究代表者

金田 晃一 (KANEDA Koichi)

千葉工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号: 10534589