

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300209

研究課題名(和文) 身体運動のメカニズムと適応性の解明：骨格筋・腱動態の生体計測によるアプローチ

研究課題名(英文) Mechanism and adaptability of human movement performance approached with in vivo measurement of musculotendinous behavior

研究代表者

川上 泰雄 (Kawakami, Yasuo)

早稲田大学・スポーツ科学大学院・教授

研究者番号：60234027

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、人間の骨格筋・腱動態の生体計測を通じて身体運動に関わる骨格筋と腱の適応性について調べ、身体運動のメカニズムを明らかにすることを目的とした。超音波装置や3次元動作解析を通じて、下肢の筋や腱動態、ランニング中の下肢関節の力学的特性を評価した。また、筋収縮後に筋力が一過的に増加する現象に関して、事前の筋収縮強度、運動速度や強度が筋力や身体パフォーマンスに影響を及ぼすという知見を得た。さらに、レジスタンストレーニングによって骨格筋のみならず腱組織も適応する事実を発見した。本研究では、骨格筋・腱組織の動態や適応性の評価を通じて、身体運動の規定因子やパフォーマンス向上のメカニズムを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to evaluate the adaptability of muscle-tendon unit functions and reveal the mechanisms during human movements through the measurement of biological data. We disclosed dynamics of the muscle-tendon units and their mechanical properties in the lower limb during running by ultrasound apparatus and a three-dimensional motion analysis system. Regarding the phenomenon of post-activation potentiation, the contraction intensity, exercise velocity and intensity of conditioning contraction were found to influence the force-producing capacity of skeletal muscles and movement performances. Furthermore, we found morphological adaptation of the tendinous tissues to muscle hypertrophy by resistance training. This study clarified some important factors of movement performance and the mechanisms of their improvement through in vivo evaluation of the dynamics and adaptability of muscle-tendon units in humans.

研究分野：総合領域

キーワード：生体計測 筋腱複合体 筋腱相互作用 力学的特性 トレーニング バイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

(1) 人間が行う身体運動は、日常生活活動からトップアスリートのパフォーマンスまで多種多様であるが、それらの原動力は骨格筋の収縮である。骨格筋は腱組織と連なって筋腱複合体を構成しており、同時に複数の筋腱複合体が身体運動に関わるという特徴がある。単一の関節運動に限ってみても、複数の協働筋が関節運動に関与しており、それぞれの協働筋は筋形状や筋線維組成などの解剖学的・生理学的特性を異にすることが多い。このことから、関節運動における協働筋のはたらきの理解が必要不可欠である。これまで、人間の身体運動中の協働筋の振る舞いについては、筋電図法や超音波法を用いた生体計測が頻繁に行われてきたが、各筋の骨格筋・腱動態にまで踏み込んだ研究はみられない。さらに、骨格筋は生体内で独立して機能することはなく、常に隣接する他筋の影響下にあるという事実は、これまでの骨格筋の機能に関する理論の枠組みそのものの再考を迫るものとなり得るにもかかわらず、これまでほとんど注目されていなかった。

(2) 骨格筋のもう1つの特徴として、成長や身体トレーニングによる肥大や最大筋力の増加といったプラスの適応、あるいは、加齢や不使用による萎縮や筋力低下というマイナスの適応が生じる極めて可塑性に富む生体組織であることが挙げられる。骨格筋の応答性の高さは、筋疲労や筋肉痛といった、運動によって生じる一過性の変化においてもみることができる。また、腱組織の力学的特性もトレーニングや不使用によって粘弾性が変化することが明らかになっている。これらの変化が、身体運動中の骨格筋・腱動態に影響を及ぼし、身体運動のパフォーマンスを左右するものと考えられる。筋腱複合体の可塑性・適応性については、筋形状や機能の変化、腱の力学的特性の変化、といった観点からこれまでも数多く検討が進められているが、得られている知見は断片的であり、筋腱複合体の形状・機能の変化が、運動中の骨格筋・腱動態を実際にどのように変化させ得るか、という基礎的な点について行われた研究は皆無である。

2. 研究の目的

(1) 人間の身体運動中の骨格筋・腱動態の生体計測を通じて、身体運動に関わる筋群の筋腱複合体としての機能を評価し、身体運動の仕組みやそのパフォーマンスの規定因子を明らかにすることを目的とした。

(2) 身体運動中の筋腱複合体の形状や機能の可塑性・適応性に関する知見を得ることで、身体運動の繰り返しによって身体運動のパフォーマンスが向上するメカニズムを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 身体運動中における協働筋の筋腱複合

体の生体計測に基づいて身体運動のメカニズムの探求を目指し、生体計測法の方法論を確立した上で、段階的に研究発展を実施した。Bモード超音波法とモーショントラッキングシステムの併用による筋腱動態計測システムを用いて、足部を用いたホッピング動作を対象に、収縮中の筋腱複合体の筋線維動態および腱組織動態を計測した。それと同時に、画像の精細度を高めるアルゴリズムを有する機器を導入し、骨格筋の表層部から深部までの観察を行うシステムを構築した。パフォーマンスを計測するにあたって、研究成果をより広く普及させるため当初計画していたジャンプのみではなく、ランニングを筋腱動態の指標の1つに追加した。

3次元モーションキャプチャシステムを用いて下肢の関節運動を撮影した。記録した3次元映像からランニング中における股関節、膝関節や足関節の運動学的・力学的解析を行った。

超音波画像法や磁気共鳴画像法(MRI)を用いて、複雑な解剖学的構造を持つ大腿直筋の形態計測を行った。大腿四頭筋が顕著に発達しているボート選手を対象として大腿四頭筋の各協働筋の横断面積をMRI法から算出した。

(2) 電気刺激法により骨格筋の収縮を誘発させ、運動後における骨格筋の筋力増強について評価した。さらに、表面筋電図法により取得する筋電図信号と電気刺激法により誘発された骨格筋の発揮張力の関係を検討することで、筋収縮強度、運動速度や身体運動強度の影響についても検討した。このように、運動後の筋力増強に関して網羅的に実験を行った。

運動直後の筋内fMRI解析による活動部位のマッピングを通じて、収縮中の筋内活動部位を同定し、筋疲労の程度を定量化する方法論を策定した(図1; Miyamoto et al., 2015)。このMR撮像法は、パフォーマンス向上や疲労軽減を目的としたスポーツウェアの効果や、トライアスロン競技者を対象とした高強度自転車ペダリング運動後の大腿部の筋活動特性を評価する研究に発展した。

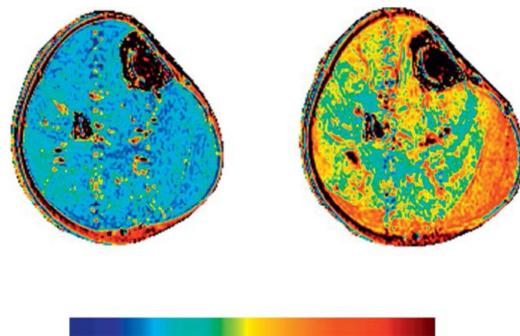


図1. ランニング前後におけるMR-T2強調画像

また、11名の若年男性に対して三ヶ月間のレジスタンストレーニング（膝関節伸展）を実施し、大腿四頭筋の“大きさ”や“かたち”に対するレジスタンストレーニングの影響を縦断的に調べた。MRI法や超音波画像法により得られた大腿部の横断画像から大腿四頭筋の形態や形状を算出し、それらをトレーニング前後で比較した。

4. 研究成果

(1) Bモード超音波法とモーショントラッキングシステムの併用による筋腱動態計測システムを用いて、足部を対象として、下腿三頭筋収縮中の足部の変形をビデオ解析によって計測し、上述の筋線維・腱組織動態と合わせることで、関節内の軟組織の力学的特性の評価を行った。また、これまで被験筋としてきた下腿三頭筋以外の筋もランニングや足部ホッピングなどの身体パフォーマンスへ貢献するため、大腿部筋群も対象筋に含め、大腿部筋群の筋線維・腱組織動態の知見を得ることができた。

その結果、複数の筋が起始と停止をもつ股関節、膝関節、足関節におけるランニング中の関節運動（Sakaguchi et al., 2014）やランニングの力学的メカニズムを明らかにした（Sakaguchi et al., 2015）。これらの研究で得られた成果は、ランニングを原因とする膝関節障害が女性の膝関節に頻発される要因の1つであることを解明した。骨格筋収縮特性に関連する腱の作用については、筋収縮によって誘発されるアキレス腱のモーメントアームを三次元表示する新たな技法を考案することに成功した（Hashizume et al., 2014）。

大腿直筋の超音波画像測定により、大腿直筋の筋束配列は筋量と相関関係があることが明らかになった。大腿直筋から非常に精度よく超音波画像を撮影することができた。そのため、超音波法を用いた大腿直筋の筋束配列を計測する手法が確立された（Ema et al., 2013）。ボート選手の大腿部を対象としたMRI撮像では、ボート選手の大腿直筋は一般人並みの大きさであることが明らかになった（Ema et al., 2014）。

(2) 筋収縮後に筋力が一過的に増加するという現象に関して、筋収縮後の筋力増強が骨格筋の筋収縮強度に依存することを明らかにした（Fukutani et al., 2014）。さらに、伸張性収縮中の筋線維動態を計測し、伸長による骨格筋張力増加機構（Fukutani et al., 2013）や、スクワットエクササイズ強度がジャンプパフォーマンスに及ぼす影響（Fukutani et al., 2014）について新たな知見を得ることができた。また、パフォーマンスの向上や疲労軽減効果を狙ったデバイス（コンプレッションウェアやピンディングペダル）の効果についても検証した。コンプレッションウェアの適切な着圧を特定し（松本ら, 2013）、骨格筋の収縮特性とコンプレッションウェアが筋疲

労抑制や身体パフォーマンスに関連する新たな知見を得ることができた（Miyamoto et al., 2014; 2015）。

三ヶ月間のレジスタンストレーニングに対する筋腱複合体の可塑性について検討した実験では、解析対象とした外側広筋の解剖学的な筋横断面積や羽状角に有意な差が認められ、生体軟組織が筋肥大と密接に関連する新たな知見を大腿部にて発見した（図2; Wakahara et al., 2015）。

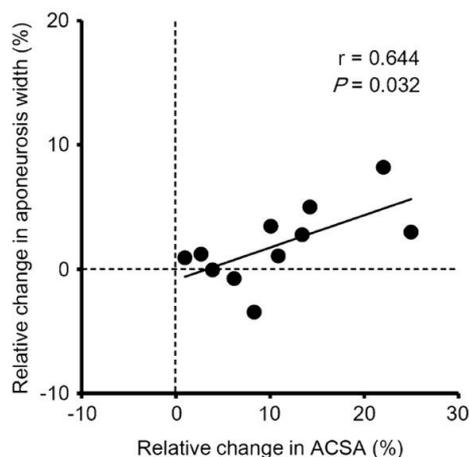


図2. 大腿四頭筋の筋横断面積と腱膜のトレーニングによる相対的な変化

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 27 件)

- Akagi, R., Iwanuma, S., Hashizume, S., Kanehisa, H., Fukunaga, T., Kawakami, Y. Determination of contraction-induced changes in elbow flexor cross-sectional area for evaluating muscle size-strength relationship during contraction. *J. Strength Cond. Res.* Epub ahead of print, 2015. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000793. 査読有
- Miyamoto, N., Kawakami, Y. No graduated pressure profile in compression stockings still reduces muscle fatigue. *Int. J. Sports Med.* 36: 220-225, 2015. DOI: 10.1055/s-0034-1390495. 査読有
- Sakaguchi, M., Shimizu, N., Yanai, T., Stefanyshyn, D.J., Kawakami, Y. Hip rotation angle is associated with frontal plane knee joint mechanics during running. *Gait Posture* 41: 557-561, 2015. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2014.12.014. 査読有
- Wakahara, T., Ema, R., Miyamoto, N., Kawakami, Y. Increase in vastus lateralis aponeurosis width induced by resistance training: implications for a hypertrophic model of pennate muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.* 115: 309-316, 2015. DOI: 10.1007/s00421-014-3012-9. 査読有

Akagi, R., Iwanuma, S., Hashizume, S., Kanehisa, H., Yanai, T., Kawakami, Y. Association between contraction-induced increases in elbow flexor muscle thickness and distal biceps brachii tendon moment arm depends on the muscle thickness measurement site. *J. Appl. Biomech.* 30: 134-139, 2014. DOI: 10.1123/jab.2012-0145. 査読有

Fukutani, A., Takei, S., Hirata, K., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Kawakami, Y. Influence of the intensity of squat exercises on the subsequent jump performance. *J. Strength Cond. Res.* 28: 2236-2243, 2014. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000409. 査読有

Hashizume, S., Iwanuma, S., Akagi, R., Kanehisa, H., Kawakami, Y., Yanai, T. The contraction-induced increase in Achilles tendon moment arm: A three-dimensional study. *J. Biomech.* 47: 3226-3231, 2014. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2014.08.003. 査読有

Kanda, K., Sugama, K., Sakuma, J., Kawakami, Y., Suzuki, K. Evaluation of serum leaking enzymes and investigation into new biomarkers for exercise-induced muscle damage. *Exerc. Immunol. Rev.* 20: 39-54, 2014. 査読有

Miyamoto, N., Kawakami, Y. Effect of pressure intensity of compression short-tight on fatigue of thigh muscles. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46: 2168-2174, 2014. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000330. 査読有

Otani, T., George, T., Uryu, K., Yahara, M., Iizuka, A., Hamamoto, S., Miyamae, S., Hashimoto, K., Destephe, M., Sakaguchi, M., Kawakami, Y., Lim, H.-O., Takanishi, A. Leg with rotational joint that mimics elastic characteristics of human leg in running stance phase. 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Madrid, November 18-20, 2014.

Otani, T., Uryu, K., Yahara, M., Iizuka, A., Hamamoto, S., Miyamae, S., Hashimoto, K., Destephe, M., Sakaguchi, M., Kawakami, Y., Lim, H. O., Takanishi, A. Hopping robot using pelvic movement and leg joints elasticity. ROMANSY20, Proceedings of the 20th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, Moscow, M. Ceccarelli and V. A. Glazunov (eds.), Advances on Theory and Practice 235 of Robots and Manipulators, Mechanisms and Machine Science 22, 235- 243, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-07058-2_27.

Otani, T., Yahara, M., Uryu, K., Iizuka, A., Hashimoto, K., Kishi, T., Endo, N., Sakaguchi, M., Kawakami, Y., Hyon, S. H., Lim, H. O., Takanishi, A. Running model and hopping robot using pelvic movement and leg elasticity. Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation,

2313-2318, Hong Kong, May 2014.

Sakaguchi, M., Ogawa, H., Shimizu, N., Kanehisa, H., Yanai, T., Kawakami, Y. Gender differences in hip and ankle joint kinematics on knee abduction during running. *Eur. J. Sport Sci.* 14 Suppl 1:S302-S309, 2014. DOI: 10.1080/17461391.2012.693953. 査読有

Takai, Y., Ohta, M., Akagi, R., Kato, E., Wakahara, T., Kawakami, Y., Fukunaga, T., Kanehisa, H. Applicability of ultrasound muscle thickness measurements for predicting fat-free mass in elderly population. *J. Nutr. Health Aging.* 18: 579-585, 2014. DOI: 10.1007/s12603-013-0419-7. 査読有

志々田文明, 阪口正律, 佐藤忠之, 川上泰雄. 柔道の「五の形」一本目における当身技の術理: 柔術的当身技の視点から. *スポーツ科学研究*, 11: 212-224, 2014. 査読有

茂木康嘉, 川上泰雄, 矢内利政. ヒト生体腱における力学的特性の計測: つま先領域と線形領域の識別方法の提案. *バイオメカニクス研究*, 18: 63-71, 2014. 査読有

川上泰雄, 茂木康嘉. 子どもの動きと筋力. *体育の科学*, 64: 770-775, 2014.

Ema, R., Wakahara, T., Kanehisa, H., Kawakami, Y.: "Inferior muscularity of the rectus femoris to vasti in varsity oarsmen" *Int. J. Sports Med.* 35: 293-297 (2014), 査読有

Ema, R., Wakahara, T., Mogi, Y., Miyamoto, N., Komatsu, T., Kanehisa, H., Kawakami, Y.: "In vivo measurement of human rectus femoris architecture by ultrasonography: validity and applicability" *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 33: 267-273 (2013), 査読有

Fukutani, A., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Yanai, T., Kawakami, Y.: "Potentiation of isokinetic torque is velocity-dependent following an isometric conditioning contraction" *SpringerPlus* 2: 554 (2013), 査読有

② Kanda, K., Sugama, K., Sakuma, J., Kawakami, Y., Suzuki, K.: "Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation" *Exerc. Immunol.* 19: 72-85 (2013), 査読有

② Fukutani, A., Hirata, K., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Yanai, T., Kawakami, Y.: "Effect of conditioning contraction intensity on postactivation potentiation is muscle dependent" *J. Electromyogr. Kinesiol.* 24: 240-245 (2014), 査読有

③ Ema, R., Wakahara, T., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Kawakami, Y.: "Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training" *Eur. J. Appl. Physiol.* 113: 2691-2703 (2013), 査読有

④ 松本奈々, 宮本直和, 浦中宏典, 丸茂智彦, 谷口耕一, 川上泰雄: "大腿部への圧迫が電気刺激による誘発膝関節伸展トルクに及

ぼす影響" トレーニング科学 25. 55-60 (2013), 査読有

- ⑳ Fukutani, A., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Yanai, T., Kawakami, Y.: "Influence of the intensity of a conditioning contraction on the subsequent twitch torque and maximal voluntary concentric torque" J. Electromyogr. Kinesiol. 22. 560-565 (2012), 査読有
- ㉑ Kawakami, Y.: "Morphological and functional characteristics of the muscle-tendon unit" J. Phys. Fit. Sports Med. 1. 1512-1518 (2012), 査読有
- ㉒ 江間諒一, 平田浩祐, 若原 卓, 金久博昭, 川上泰雄: "骨盤の傾斜角度が最大随意膝関節伸展トルクに及ぼす影響" バイオメカニクス研究 16. 74-81 (2012), 査読有

[学会発表](計 23 件)

Kawakami, Y. Musculo-mechanical profile of world top sprinters (keynote speaker). 2014 International Conference of Korean Society of Sport Biomechanics. Chungju, Korea, 9/26-27, 2014.

Kawakami, Y., Hishikawa, K., Shimamoto, K., Mogi, Y. Velocity dependence of maximal eccentric dorsiflexion in humans: effect of muscle activity and length-force property of the tibialis anterior. 7th World Congress of Biomechanics, Boston, 7/6-11, 2014.

Kawakami, Y., Hatano, J., Wakahara, T. Effect of the rate of torque development on isometric plantar flexion torque-EMG relationship: fascicle behavior matters. 19th Annual Congress of the European College of Sport Science, Amsterdam, the Netherlands, 7/2-5, 2014.

Otani, T., Uryu, K., Yahara, M., Iizuka, A., Hamamoto, S., Miyamae, S., Hashimoto, K., Destephe, M., Sakaguchi, M., Kawakami, Y., Lim, H. O., Takanishi, A. Hopping robot using pelvic movement and leg joints elasticity. ROMANSY20, Proceedings of the 20th CISM-IFTtoMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, Moscow, June 2014.

Otani, T., Yahara, M., Uryu, K., Iizuka, A., Hashimoto, K., Kishi, T., Endo, N., Sakaguchi, M., Kawakami, Y., Hyon, S. H., Lim, H. O., Takanishi, A. Running model and hopping robot using pelvic movement and leg elasticity. Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2313-2318, Hong Kong, May 2014.

Otani, T., Uryu, K., Yahara, M., Iizuka, A., Hashimoto, K., Destephe, M., Sakaguchi, M., Kawakami, Y., Lim, H. O., Takanishi, A. Development of Rotational Joint Leg That Mimics Elastic Characteristics of Human Leg in Running Stance Phase. ICRA 2014.

川上泰雄. 骨格筋を筋腱複合体として捉える: 基礎知識および最近の知見. 第 22 回日

本運動生理学会大会モーニングセッション, 岡山, 7/20, 2014.

Kawakami, Y.: "Kinetic storage of tendons and aponeuroses" Connect 2013: Connective Tissues in Sports Medicine (招待講演). (20130412-20130414). Ulm, Germany

Kawakami, Y.: "Form and function of skeletal muscle tendon unit in humans" XXIV Congress of International Society of Biomechanics (招待講演). (20130804-20130809). Natal, Brazil

Kawakami, Y., Mogi, Y., Ikeda, N.: "On the validity of evaluation of human tendinous tissues elasticity in vivo by ultrasonography" The 9th International Sport Sciences Symposium on "Active Life". (20131130-20131201). Tokyo, Japan

Ema, R., Wakahara, T., Kawakami, Y.: "Inferior muscularity of the rectus femoris compared to vasti in cyclists: cross-sectional and longitudinal observations" The 9th International Sport Sciences Symposium on "Active Life". (20131130-20131201). Tokyo, Japan

Ema, R., Wakahara, T., Kawakami, Y.: "Regular training of competitive cycling induce muscle-specific adaptation of synergistic muscles" The 9th International Sport Sciences Symposium on "Active Life". (20131130-20131201). Tokyo, Japan

Ema, R., Wakahara, T., Kanehisa, H., Kawakami, Y.: "Inferior muscularity of the rectus femoris to vasti in cyclists but not in lacrosse players" The 18th Annual Congress of the European College of Sport Science. (20130625-20130629). Barcelona, Spain

Fukutani, A., Ema, R., Hirata, K., Hashizume, S., Wakahara, T., Kanehisa, H., Kawakami, Y.: "Achilles tendon length evaluated by a two-dimensional straight model is seriously erroneous #8211;usefulness of a three-dimensional curved line model-" The 18th Annual Congress of the European College of Sport Science. (20130625-20130629). Barcelona, Spain

菱川啓太, 茂木康嘉, 川上泰雄: "関節可動域・角速度の違いが最大随意伸張性筋活動中の足関節背屈筋力に及ぼす影響" 第26回日本トレーニング科学会大会. (20131108-20131109). 山形

江間諒一, 若原卓, 谷中拓哉, 近田彰治, 金久博昭, 川上泰雄: "大学自転車競技選手における6ヶ月間のトレーニングによる大腿四頭筋および大腰筋の量的変化" 第26回日本トレーニング科学会大会. (20131108-20131109). 山形

吉川亜有美, 岩沼聡一郎, 川上泰雄: "月経周期が足部・足関節の可動性および何組織の伸長性に及ぼす影響" 第160回日本体力医学会関東地方会. 東京

塙 真太郎, 阪口正律, 川上泰雄: "足関節

底背屈動作中の筋束動態と足部変形の生体計測" 日本超音波骨軟組織学会 2014 年度学術総会. 名古屋

江間諒一, 若原卓, 平山邦明, 金久博昭, 川上泰雄: "女子ボート選手における大腿四頭筋の量的特徴" 日本体育学会第 64 回大会. (20130828-20130830). 草津, 滋賀県

川上泰雄: "超音波法による筋腱特性の評価" 運動器超音波研究会(招待講演). 千葉

②川上泰雄: "子供の動きを支える筋力" 日本学術会議公開シンポジウム「子どもの動きの獲得に必要な運動・身体活動」(招待講演). 東京

②Kawakami, Y.: "Biomechanical profile of world top sprinters" The 8th International Sport Sciences Symposium on "Active Life". (20130223). 東京

③川上泰雄: "国際誌に掲載されるための主要ポイント—アクセプトを目指して" 第 67 回日本体力医学会. (20120904). 岐阜

〔図書〕(計 5 件)

川上泰雄 他、新・スポーツ生理学、市村出版、2014 年

川上泰雄 他、SEBI・SEI のためのストレッチングエクササイズ指導理論、(公)日本フィットネス協会、2014 年

川上泰雄 他、最新高等保健体育、大修館書店、2013 年

川上泰雄 他、現代高校保健体育 大修館書店、2013 年

川上泰雄 他、ゴルフ解剖学(翻訳・監訳) ベースボールマガジン社、2012 年

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.f.waseda.jp/ykawa/indexj.htm>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

川上 泰雄 (KAWAKAMI, Yasuo)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：60234027

(2)連携研究者

矢内 利政 (YANAI, Toshimasa)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：50387619

宮本 直和 (MIYAMOTO, Naokazu)

鹿屋体育大学・体育学部・准教授

研究者番号：20420408

若原 卓 (WAKAHARA, Taku)

同志社大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号：20508288

光川 眞壽 (MITSUKAWA, Naotoshi)

東洋学園大学・人間科学部・専任講師

研究者番号：60583408