

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03077

研究課題名(和文) 長距離選手のパフォーマンスの向上に特化した次世代型トレーニングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of innovative training systems for enhancing running performance in endurance runners

研究代表者

伊坂 忠夫 (Isaka, Tadao)

立命館大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：30247811

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、長距離選手におけるランニングパフォーマンスの決定因子を解明し、それを高める次世代型のトレーニング法を開発することを目的とした。本研究の結果において、長距離選手の足関節モーメントの生成に貢献する機械的特性(例えば、足関節底屈スティフネス)および形態的特性(例えば、足趾骨長やアキレス腱長)は、ランニングパフォーマンスに関係する重要な因子であることを明らかにした。さらに、これらの研究結果を基にして、長距離選手間の個別特性に対応する体系的なトレーニングシステムを構築した。これらの研究成果は、長距離選手における競技パフォーマンスの向上を効果的に達成するための一躍を担うものと期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to exhaustively examine the factors contributing to superior running performance in endurance runners, and develop innovative systems to effectively utilize and enhance such determinant factors of endurance runners. In this study, we determined that some mechanical (e.g., passive plantar flexor stiffness) and morphological (e.g., forefoot length and Achilles tendon length) factors, especially those related to the generation of ankle plantar flexor moment, are determinants for achieving superior running performance in endurance runners. Based on these findings, we developed a systematic training program, which can provide optimal training corresponding to individuality among endurance runners and predict this expected training effect. In conclusion, we believe that a series of our findings play an important role in effectively enhancing running performance and then improving the outcomes of endurance runners.

研究分野：複合領域

キーワード：スポーツバイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

本邦において、2020年の東京オリンピックの開催が決定し、それに向けた競技選手の育成・強化がスポーツ界における最重要課題である。しかしながら、これまでに世界と対等に戦える選手の育成・強化に成功し、メダルが有力視されている競技種目があるのに対して、より一層の選手の育成・強化を求められている競技種目も少なくない。その中でも陸上競技、とりわけ長距離トラック競技種目は、ケニアやエチオピアをはじめとするアフリカ系競技選手との差が歴然であり、停滞を余儀なくされている。また、このような停滞の原因が単に諸外国選手との競技力の差だけでなく、例えば男子および女子の10000メートル競走の日本記録がそれぞれ2001年および2002年から10年以上も更新されておらず、選手の育成・強化の停滞が競技自体の停滞に強く反映されていることは言うまでもない。このような現状を打破する上で選手の育成・強化に科学的サポートは不可欠である。

長距離種目の競技力向上を目的とした際、ランニングパフォーマンスの決定因子の解明は、最初に明らかにすべき重要な課題であるが、未だ不明な点が多い。なぜならランニングパフォーマンスは、生理学やバイオメカニクスをはじめとする多くの学門分野にまたがって統合的に決定されるため、それらを網羅した“多角的スポーツ科学解析”から決定因子を探索する必要がある。また、従来のトレーニング科学研究は、トレーニング手段や強度・負荷、時間といった単面的なトレーニング変数に着目したものであった。しかしながら、そのような研究手段は通俗性があるとはいえ、競技選手の個別特性に対応できるものではなかった。したがって、多角的スポーツ科学解析から抽出される競技選手における複雑な個別特性に対応できる次世代型“テラーメイド・トレーニング法”の構築・開発が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、長距離選手におけるランニングパフォーマンスの決定因子を解明し、それを高める次世代型のトレーニング法を開発することを目的とした。スポーツ科学において、ランニングパフォーマンスの決定因子は解明すべき究極的なテーマの1つであるが、それは生理学やバイオメカニクスをはじめとする多くの学門分野にまたがって統合的に存在するため、単一分野のみで探索するには限界がある。本研究は、生理学からバイオメカニクスまでを網羅した多角的スポーツ科学解析からランニングパフォーマンスの決定因子を解明する。さらに、その決定因子を高めるトレーニング装置の開発やシミュレーション・フィードバックといった最先端の科学技術を駆使した次世代型のテラーメイド・トレーニング法の構築・開発を行う。

3. 研究の方法

本研究は、長距離選手におけるランニングパフォーマンスの決定因子を解明し、それを高める次世代型のトレーニング法を開発することを目的としている。初年度は、この目的を達成するために生理学からバイオメカニクスまでを網羅した多角的スポーツ科学解析によって、ランニングパフォーマンスの決定因子を解明する。次年度は、この解析から得た決定因子を再構築する多機能トレーニング装置の開発とそのような再構築を達成した場合に想定されるトレーニング効果予測シミュレーションシステムを構築する。最終年度は、最適なランニング運動を獲得できるリアルタイムバイオフィードバックシステムを開発するとともに、これらの装置およびシステムを用いたトレーニング介入実験を行い、競技力向上に応用する。

4. 研究成果

(1)平成27年度は、長距離選手28名において、足関節底屈スティフネスとランニングパフォーマンスの関係を検討した。その結果、足関節底屈スティフネスが高いほどランニングエコノミーを含むランニングパフォーマンスが高く、足関節底屈スティフネスとランニングパフォーマンスの間に有意な相関関係が認められた。また、長距離選手30名において、アキレス腱長とランニングパフォーマンスの関係を検討した。その結果、磁気共鳴画像法を用いて評価した腓腹筋内側頭とアキレス腱の付着部および腓腹筋内側頭と外側頭の結合部までのアキレス腱長が長いほどランニングパフォーマンスが高く、アキレス腱長とランニングパフォーマンスの間に有意な相関関係が認められた。これらの研究成果から、長距離選手の足部および下腿部の機械的・形態的特性は、ランニングパフォーマンスを規定する重要な因子であることが示唆された。現在、下腿部および足部を中心として、長距離選手において最適な筋・腱・関節の機械的・形態的特性を網羅的に探索するとともに生理学的因子についても検討を加え、多角的スポーツ科学解析からランニングパフォーマンスの決定因子の解明を行っている。

(2)平成28年度は、主に骨・関節の形態的特性に着目して、長距離選手の最適な身体形状のデータを得るべく研究を遂行した。骨形態の解析では、長距離選手における足趾骨が一般者よりも長く、さらに長い足趾骨が高いランニングパフォーマンスに関連することを明らかにした。また、短距離選手を対象とした研究からも同様の結果が得られたことから、長距離および短距離競技において、高いパフォーマンスを達成するために足趾骨の形態的特性が貢献する可能性を示唆した。関節形態の解析では、長距離選手における長

い足関節モーメントアームが高いランニングパフォーマンスに関連することを明らかにした。また、同様な結果は、短距離選手においても認められた。一方、これまでに短距離選手において長い膝関節モーメントアームが高いスプリントパフォーマンスに関連することを明らかにしたが、これに対して、長距離選手では短い膝関節モーメントアームが高いランニングパフォーマンスに関連した。したがって、長距離および短距離競技において、高いパフォーマンスを達成するために関節モーメントアームの大きさが貢献するが、その中でも膝関節の形態的特性に関しては、競技間で異なる貢献を示す可能性が示唆された。

(3) 平成 29 年度は、平成 28 年度に構築したトレーニング効果予測シミュレーションシステムを応用することで選手の個別特性に対応して最適なランニング運動を獲得するために必要とされる筋腱複合体特性や滞空・接地時間、接地パターンなどを算出できるオーダーメイド型の予測システムを構築し、このシステムから得られた結果に基づき床反力や筋電図のデータを高速計算によって視覚的または聴覚的に即時提供するテラメイト型のリアルタイムバイオフィードバックシステムを開発した。このシステムを開発した後、一過性の介入実験に移行して有効性を検証した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 16 件)

Hiromasa Ueno, Tadashi Suga, Kenji Takao, Takahiro Tanaka, Jun Misaki, Yuto Miyake, Akinori Nagano, Tadao Isaka, Association between Forefoot Bone Length and Performance in Male Endurance Runners, *Int J Sports Med*, 査読有、39(4)、2018、pp.275-281、DOI : 10.1055/s-0043-123646

Ueno H, Suga T, Takao K, Tanaka T, Misaki J, Miyake Y, Nagano A, Isaka T, Potential Relationship between Passive Plantar Flexor Stiffness and Running Performance., *Int J Sports Med*, 査読有、39(3)、2018、pp.204-209、DOI : 10.1055/s-0043-121271

Tsukamoto H, Suga T, Ishibashi A, Takenaka S, Tanaka D, Hirano Y, Hamaoka T, Goto K, Ebi K, Isaka T, Hashimoto T, Flavanol-rich cocoa consumption enhances exercise-induced executive function improvements in humans., *Nutrition*, 査読有、46、2018、pp.90-96、DOI : 10.1016/j.nut.2017.08.017

Morimoto A, Suga T, Tottori N, Wachi M, Misaki J, Tsuchikane R, Isaka T, Association between hand muscle thickness and whole-body skeletal muscle mass in healthy adults: a pilot study., *J Phys Ther Sci*, 査読有、29(9)、2017、pp.1644-1648、DOI : 10.1589/jpts.29.1644

Ueno H, Suga T, Takao K, Tanaka T, Misaki J, Miyake Y, Nagano A, Isaka T, Relationship between Achilles tendon length and running performance in well-trained male endurance runners, *Scand J Med Sci Sports*, 査読有、28(2)、2018、pp.446-451、DOI : 10.1111/sms.12940

Atsuki Fukutani, Jun Misaki & Tadao Isaka, Relationship between joint torque and muscle fascicle shortening at various joint angles and intensities in the plantar flexors, *Scientific Reports*, 査読有、7:290、2017、pp.1-6、DOI : 10.1038/s41598-017-00485-1

Miyake Y, Suga T, Otsuka M, Tanaka T, Misaki J, Kudo S, Nagano A, Isaka T, The knee extensor moment arm is associated with performance in male sprinters., *Eur J Appl Physiol*, 査読有、117(3)、2017、pp.533-539、DOI : 10.1007/s00421-017-3557-5

Wachi M, Suga T, Higuchi T, Misaki J, Tsuchikane R, Tanaka D, Miyake Y, Isaka T, Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscle size: a pilot study., *J Phys Ther Sci*, 査読有、29(2)、2017、pp.245-249、DOI : 10.1589/jpts.29.245

Tanaka T, Suga T, Otsuka M, Misaki J, Miyake Y, Kudo S, Nagano A, Isaka T, Relationship between the length of the forefoot bones and performance in male sprinters., *Scand J Med Sci Sports*, 査読有、2017、DOI : 10.1111/sms.12857

Mitsuo Otsuka, Taisuke Ito, Toyoyuki Honjo and Tadao Isaka, Scapula behavior associates with fast sprinting in first accelerated running., *Springer Plus*, 査読有、5、2016、pp.682 DOI : 10.1186/s40064-016-2291-5

Tsukamoto H, Suga T, Takenaka S, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Ogoh S, Hashimoto T, Repeated high-intensity

interval exercise shortens the positive effect on executive function during post-exercise recovery in healthy young males.、Physiol Behav、査読有、160、2016、pp.26-34
DOI : 10.1016/j.physbeh.2016.03.029

Tsukamoto H, Suga T, Takenaka S, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Hashimoto T、Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise、Physiol Behav、査読有、155、2016、pp.224-230
DOI : 10.1016/j.physbeh.2015.12.021

Otsuka M, Kawahara T, Isaka T、Acute response of well-trained sprinters to a 100-m race: Higher sprinting velocity achieved with increased step rate compared with speed training、J Strength Cond Res、査読有、30、2016、pp.635-642
DOI : 10.1519/JSC.0000000000001162

Fujii K, Yamashita D, Kimura T, Isaka T, Kouzaki M、Preparatory body state before reacting to an opponent: Short-term joint torque fluctuation in realtime competitive sports、PLoS One、査読有、10、2015、pp.e0128571
DOI : 10.1371/journal.pone.0128571

Fukutani A, Kurihara T, Isaka T、Factors of force potentiation induced by stretch-shortening cycle in plantarflexors、PLoS One、査読有、10、2015、pp.e0120579、
DOI : 10.1371/journal.pone.0120579

Otsuka M, Kurihara T, Isaka T、Effect of a wide stance on block start performance in sprint running、PLoS One、査読有、10、2015、pp.e0142230、
DOI : 10.1371/journal.pone.0142230

[学会発表](計14件)

Hiromasa Ueno, Tadashi Suga, Kenji Takao, Takahiro Tanaka, Jun Misaki, Yuto Miyake, Akinori Nagano, and Tadao Isaka、RELATIONSHIP BETWEEN THE LENGTH OF THE FOREFOOT BONES AND PERFORMANCE IN MALE ENDURANCE RUNNERS、The XXVI Congress of the International Society of Biomechanics 2017、2017

Takahiko Sato, Yusuke Fukuhara and Tadao Isaka、DIFFERENCES IN PERFORMANCE OF SPRINTING IN A SIDEWAYS DIRECTION BETWEEN THE USES OF FORWARD AND COUNTER

STEP TECHNIQUES、The XXVI Congress of the International Society of Biomechanics 2017、2017

高橋智恵莉、菅唯志、上野弘聖、三宅悠斗、下寶賢人、寺田昌史、長野明紀、伊坂忠夫、短距離走選手における足関節底屈柔軟性とスプリントパフォーマンスの関係、第30回日本トレーニング科学学会大会、2017

湯浅康弘、栗原俊之、伊坂忠夫、連続的な跳躍の能力と足趾筋力の関係、第30回日本トレーニング科学学会大会、2017

富田大智、菅唯志、上野弘聖、三宅悠斗、下寶賢人、寺田昌史、長野明紀、伊坂忠夫、アキレス腱長はスプリントパフォーマンスに影響するか?、第30回日本トレーニング科学学会大会、2017

上野弘聖、菅唯志、三宅悠斗、高尾憲司、長野明紀、伊坂忠夫、長距離選手と短距離選手におけるアキレス腱と膝蓋腱の種目特異的腱肥大、第24回日本バイオメカニクス学会大会、2016

Shoma Kudo, Masahiro Fujimoto, Tadao Isaka, Akinori Nagano、Time-varying trunk dynamics during running、第24回日本バイオメカニクス学会大会、2016

伊坂忠夫、上野弘聖、田中貴大、高尾憲司、菅唯志、ランニングパフォーマンスと筋・腱の形態、第7回スポーツメディスンフォーラム、2016

本城豊之、伊坂忠夫、iSSACを用いた脚伸展運動における数値計算に基づくパラメータ設計と運動効果の事前評価システムの構築、第28回日本トレーニング科学学会大会、2015

奥谷仁、菅唯志、若宮美咲、伊坂忠夫、長野明紀、110mハードル選手の大腰筋の形態的特徴、第28回日本トレーニング科学学会大会、2015

大塚光雄、伊坂忠夫、縦断的分析による400mハードル走選手のレースタイプ分類からみた実践的示唆、第28回日本トレーニング科学学会大会、2015

三宅悠斗、菅唯志、大塚光雄、田中貴大、御前純、工藤将馬、長野明紀、伊坂忠夫、短距離走選手における下腿三頭筋の筋形態とパフォーマンスの関係、スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2015、2015

上野弘聖、菅唯志、高尾憲司、田中貴大、御前純、長野明紀、伊坂忠夫、長距離走選

手におけるアキレス腱長とランニングエコノミーの関係、第70回日本体力医学会大会、2015

田中貴大，菅唯志，大塚光雄，御前純，三宅悠斗，長野明紀，伊坂忠夫、短距離走選手における足趾筋の特異的発達、第70回日本体力医学会大会、2015

〔産業財産権〕

出願状況（計1件）

名称：下肢トレーニング装置
発明者：本城豊之，伊坂忠夫，塩澤成弘
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2015-088321
出願年月日：2015年04月23日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.ritsumeai.ac.jp/~isaka/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊坂 忠夫 (ISAKA, Tadao)
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授
研究者番号：30247811

(2) 研究分担者

栗原 俊之 (KURIHARA, Toshiyuki)
立命館大学・スポーツ健康科学部・助教
研究者番号：10454076

大塚 光雄 (OTSUKA, Mitsuo)
立命館大学・スポーツ健康科学部・助教
研究者番号：20611312

長野 明紀 (NAGANO, Akinori)
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授
研究者番号：30392054

塩澤 成弘 (SHIOZAWA, Naruhiro)
立命館大学・スポーツ健康科学部・准教授
研究者番号：30411250

菅 唯志 (SUGA, Tadashi)
立命館大学・スポーツ健康科学部・助教
研究者番号：30708673