

令和元年6月11日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01550

研究課題名(和文)長距離ランナーのエネルギー節約に関わる能力の評価

研究課題名(英文)Evaluation of an ability to save on energy for distance runner

研究代表者

鍋倉 賢治 (NABEKURA, Yoshiharu)

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：60237584

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：長距離競走の成否には、エネルギーを供給する能力(最大酸素摂取量：V<sub>O2</sub>maxなど)だけでなく、エネルギーを節約(省エネルギー)して走る能力が重要となる。本研究では、エネルギーを節約する能力として、走の経済性(RE)と脂質代謝について着目した。REに関して、高強度におけるREの測定法を確立した。REとV<sub>O2</sub>maxを縦断的に追跡し、両者は同時に向上せず、片方が向上するともう一方は低下することを明らかにした。脂質代謝に関して、運動時の脂質酸化動態は、事前の貯蔵エネルギーの状態、運動プロトコルに影響される。高強度運動を行なわせることで、その後の運動時の脂質酸化量が增大することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで高強度における走の経済性(RE)は評価できないとされてきたが、本研究では血中乳酸濃度を指標に加えることでより妥当に高強度走中のREを評価することが可能となった。また、最大酸素摂取量とREの両者を向上させる中長期的なトレーニング戦略への示唆を得た。一方、脂質代謝を促進する観点から、事前に高強度走を行なわせ、それに引き続き持続走を行なわせる新たなトレーニング法の可能性を見出した。これらの知見から、REの向上に関しては、中長距離ランナーの中長期的なトレーニング計画への示唆となり、脂質代謝の観点では、市民ランナーに効果的なマラソントレーニング法を提示できる。

研究成果の概要(英文)：For the success of long distance running, it is important to improve not only the capacity of energy supply (maximal oxygen uptake: V<sub>O2</sub>max), but also an ability to save on energy. In this study we payed attention to the running economy (RE) and fat oxidation for the ability to save on energy. It was clarified about RE, 1) the evaluation of RE at high-intensity running, 2) RE had decreased when V<sub>O2</sub>max had increased by training. On the other hand, we clarified about fat oxidation, 3) it was influenced fat oxidation by energy resources before exercise and by the protocol of exercise, 4) prior high-intensity running accelerated fat oxidation during subsequent endurance running.

研究分野：体力学

キーワード：中長距離走 乳酸性代謝閾値 走の経済性 脂質代謝 脂質酸化能力 高強度走 早朝空腹時 貯蔵エネルギー源

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

長距離競走の成否には、エネルギーを供給する能力(最大酸素摂取量など)に加え、エネルギーを節約(省エネルギー)して走る能力が重要となる。例えば、莫大なエネルギーを要するマラソンでは、体内に蓄えた糖質には限りがあるため、糖を節約しつつ走りきることが重要であり、マラソンより短い種目でも、終盤のスパートには糖(筋グリコーゲン)の利用が欠かせない。

エネルギー(糖)の節約に関わる能力の一つとして脂質代謝能力がある。Chenevriere ら(2009)は、漸増負荷走テスト中の脂質酸化動態を正弦波モデルに当てはめ、脂質代謝能力を評価する取り組みを行なっている。我々は、この方法で測定した脂質代謝能力が、マラソンパフォーマンスと密接にかかわる可能性を得てきた。

一方、省エネに関わる能力には走の経済性(RE)があり、これがトップランナーのパフォーマンスの優劣に直結するとした報告は多い。走の経済性は、任意の速度におけるエネルギー消費量(酸素摂取量)の高低から評価するため、高強度運動では無酸素性エネルギー代謝の貢献が高まり、評価できないとされてきた。しかし、運動中に産生される血中乳酸濃度をエネルギー値に換算することによって、高強度運動中のREも評価できる可能性がある。

本研究はこの2要因に焦点を当て、長距離走パフォーマンスとの関係を明らかにし、トレーニング課題、効果的なトレーニング法について提案することを目的とした実践研究である。

## 2. 研究の目的

本研究は、長距離ランナーのエネルギーを節約する能力として、走の経済性(省エネ)と脂質代謝能力に着目した。その他の要因(最大酸素摂取量:  $V_{O_2max}$ 、乳酸性代謝閾値: LT)と合わせて、エネルギー供給系の能力とパフォーマンスの関係を網羅的に検討し、トレーニング課題、効果的なトレーニング法について提案することが最終的な目的となる。

## 3. 研究の方法

(1) 高強度走行中のREを評価するために、酸素摂取量に加え、血中乳酸濃度を用いた無酸素性エネルギー消費量の推定法の妥当性を酸素借法との関係から検討した。この方法を用いて中長距離ランナーを対象に、REと競技パフォーマンスの関係を長期間にわたり縦断的に検討した。

(2) 運動中の呼気ガス測定から脂質酸化量を測定し、脂質代謝能力を評価した。漸増負荷試験中の脂質酸化動態から、個々の脂質代謝能力を評価し(Chenevriere法)これを基に、運動継続時間が異なる場合、早朝空腹時の脂質酸化量を比較した。

(3) 長時間運動中の脂質酸化動態について、運動中に連続的に呼気ガスを測定し評価した。

## 4. 研究成果

(1) 血中乳酸濃度をもとに無酸素性エネルギー代謝量を推定し、酸素摂取量から得られる有酸素性エネルギー代謝量に加えることで、高強度走行中のエネルギー消費量、走の経済性(RE)を妥当に評価できることを明らかにした。さらに、高強度走行中のREの評価法を用い、中長距離走パフォーマンスとの関係を検討し、乳酸性代謝閾値(LT)以下の低強度のREよりも、高強度走行中のREの方がパフォーマンスと密接に関連することを明らかにし、マラソン競技でなくてもエネルギーを節約する能力は重要であることが明らかとなった。

(2) 上記指標を基に、中長距離ランナーの生理学的変数を評価し、その結果、以下のことが明らかになった。走パフォーマンス(1500m)と最大酸素摂取量( $V_{O_2max}$ )および乳酸性代謝閾値との間には関係を認めなかった一方、特にREとの間に有意な負の相関関係を認めた。 $V_{O_2max}$ とREによって、パフォーマンスの60.5%を説明できた。この結果から、中長距離ランナーにとってREを評価することは、重要な知見をもたらすことが明らかになった。

(3) 中長距離ランナーを対象に3年間、さらに学生トップランナー1名を対象に4年間、生理

学的変数を追跡した。その結果、 $VO_{2max}$  と RE の縦断的变化の関係には有意な逆相関が、初年度の  $VO_{2max}$  とその後の両変数の変化率には、有意な負 ( $VO_{2max}$ ) および正 (RE) の相関関係が認められた。また 学生トップランナーは、4 年間を通して  $VO_{2max}$  がやや低下した一方、RE が顕著に向上し、走パフォーマンスが向上した。しかし、両変数は一方向に変化し続けるのではなく、向上と低下を交互に繰り返すことを明らかになった。以上の結果から、通常の持久系トレーニングでは、 $VO_{2max}$  と RE を同時に向上させることは困難であり、この一因として筋線維タイプ割合の変化が推察された。このことから、走パフォーマンス向上のためには、一方の向上に対してもう一方の低下を小さく抑えながら、それを繰り返しながら徐々に両者を向上させることが効果的なトレーニング戦略になる( 図 1) と結論できる。

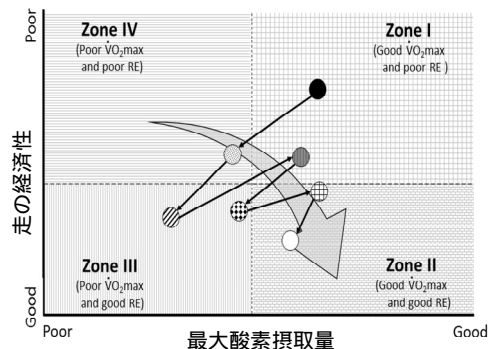


図1 最大酸素摂取量と走の経済性の効果的な向上戦略  
最大酸素摂取量と走の経済性は負の関係にある。そのため、片方の要因を高める際、もう片方の要因の低下をできるだけ抑えるように高め、それを繰り返すことで両者ともに高めることが可能となる。(丹治ら・2016を改変)

(4) 中長距離ランナーの追跡調査から  $VO_{2max}$  と RE の両変数が同時に向上しているランナーも存在したことから、持久系トレーニング以外の要因としてランニングフォームの改善が推察できる。そこで、中長距離ランナーを対象にビデオカメラによる動作解析を行ない、RE の個人差の 80%以上をバイオメカニクスの変数によって説明でき、RE に優れた 4 つのランニングフォームの特徴を明らかにした。

(5) 中長距離ランナーを対象に Chenevriere ら (2009) が提唱している脂質代謝能力を評価する方法 (プロトコール) を用い、様々な状態における脂質酸化動態を評価した。その結果、早朝空腹時では、通常の食事を摂った条件に比べ有意に脂質酸化が亢進すること、運動継続時間が長くなると同一の強度であっても脂質酸化が亢進することを明らかにした。

(6) 長距離ランナーを対象に、高強度運動 (95% $VO_{2max}$  の 1.5 km 走、あるいは、110% $VO_{2max}$  で 200m x 5 本) を行なわせた後に、引き続き持続走 (90%LT 強度) を行なわせると、通常の持続走のみの条件よりも、有意に脂質酸化が亢進することを明らかにした (図 2)。これは、高強度運動によって筋グリコーゲンが低下することに由来すると考えられ、高強度走の直後に持続走を行なわせることで脂質酸化量を増進させる効果的なトレーニング法になる可能性が示唆された。

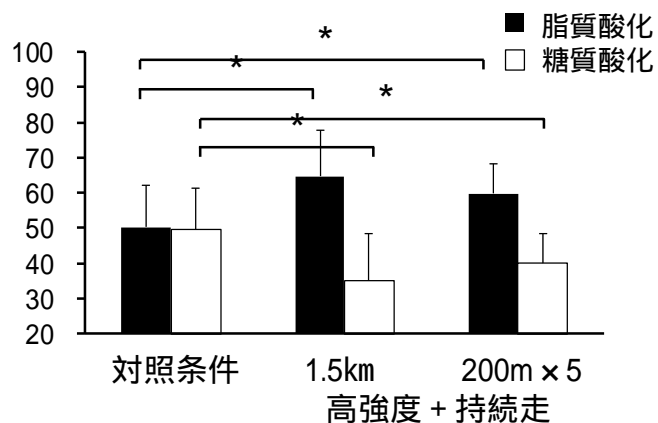


図2 持続走中のエネルギー基質割合 (%)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

丹治史弥、鍋倉賢治：中長

距離ランナーにおけるステップ変数と走の経済性の縦断的变化の関係．体育学研究、査読有、63：583-594、2018.12. オープンアクセス

鍋倉賢治：持久能力および有酸素能力のリミットレベル．体育の科学、68：585-590、2018.8.

Tanji F, Tsuji T, Shimazu W, Nabekura Y: Estimation of accumulated oxygen deficit from accumulated blood lactate concentration during supramaximal running in middle-distance runners. J. Phys. Fit. Sports Med., 査読有、6、359-363、2017.9.  
Tanji F, Shirai Y, Tsuji T, Shimazu W, Nabekura Y: Relation between 1,500-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained distance runners. J. Phys. Fitness Sports Med., 査読有、6: 41-48, 2017.  
丹治史弥、鍋倉賢治: 大学生ランナーにおける3年間の有酸素能力と走パフォーマンスの変化の関係. ランニング学研究、査読有、28: 17-28、2017.

〔学会発表〕(計12件)

鍋倉賢治: 高強度+持続走(ガチユル走)トレーニングの提案(シンポジウム) 第31回ランニング学会、新潟、2019.3.16.

Tanji F, Nabekura Y: Distance running performance and high-intensity running economy in highly trained female distance runners. 23<sup>rd</sup> annual congress of ECSS, Dublin Ireland, 2018.7.4-7.

鍋倉賢治、丹治史弥、高山史徳、高橋啓悟、青柳篤、嶋津航、辻俊樹: 早朝絶食時の漸増負荷走運動中の脂質酸化の特徴、第72回日本体力医学会、松山大、2017.9.16.

Tanji F, Shimazu W, Tsuji T, Enomoto Y, Nabekura Y: Relationships in 800 meter running performance and aerobic and anaerobic running capacities in homogeneous middle-distance runners, 21th annual Congress of the European College of Sport Science, Vienna(Austria), 2016.7.6-9

鍋倉賢治、岩山海渡、丹治史弥、河合謙一、黒川心、木下なつみ、嶋津航: 短時間・高強度走後に行なう長距離走中のエネルギー代謝. 第70回日本体力医学会、和歌山県民文化会館、2015.9.18.

〔図書〕(計3件)

鍋倉賢治: 続・マラソンランナーへの道 - より速くスマートに走り続けるため -、大修館書店、東京、2018.11.

鍋倉賢治: マラソンランナーへの道 - 賢く走るための理論と実践 -、大修館書店、東京、2018.2.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 徳山 薫平

ローマ字氏名: (TOKUYAMA, kunpei)

所属研究機関名: 筑波大学

部局名: 体育系

職名: 教授

研究者番号(8桁): 00207565

研究分担者氏名: 榎本 靖士

ローマ字氏名: (ENOMOTO, yasushi)

所属研究機関名: 筑波大学

部局名: 体育系

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 90379058

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 丹治 史弥

ローマ字氏名: (TANJI, fumiya)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。