

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20050

研究課題名（和文）Mimicking exerciseを用いたランニングの効率に影響する動作の解明

研究課題名（英文）Investigation of biomechanical factors affecting running economy using mimicking exercise

研究代表者

関 慶太郎（SEKI, Keitaro）

日本大学・文理学部・助教

研究者番号：90822239

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：鉛直方向の連続ジャンプのエネルギーコストから、上り傾斜のランニングにおける身体の上下動に関わるエネルギーコストが推定できる可能性が示された。また、連続ジャンプの跳躍方向を変えることができるSledgeジャンプを用いて、生理学的エネルギー消費量と踏切中の下肢のキネティクスを検討した。その結果、斜度の大きい条件では生理学的エネルギー消費量が有意に大きく、低い条件では有意に小さかった。このことから、水平タスクよりも鉛直タスクの方がエネルギーコストが大きいことが明らかになった。また、エネルギーコストには膝関節と足関節の力学的仕事に影響していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ランニングエコノミーに関する研究は国際的に数多く行われているが、ランニングそのものを研究して得られる知見には限界がある。本研究ではランニングを模したよりシンプルな運動（Mimicking exercise）である連続ジャンプを用いて検討を行った。ランニングでは、水平方向の運動を鉛直方向の運動から完全に切り離して実施することはできないが、Mimicking exerciseを用いることで両者に相互に影響している要因を整理して検討することができた。

研究成果の概要（英文）：The energy cost associated with the vertical movement of the body during incline running could be estimated using the energy cost of repeated vertical jumping. The energy expenditure was greater in sledge jumping, which can change the moving direction of repeated jumping, on a steeper incline than that on a lower incline. The results indicated that the energy expenditure would be smaller in horizontal tasks than in vertical tasks. Additionally, the mechanical work of the knee and ankle joints would associate with energy cost.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：ランニングエコノミー 効率 力学的仕事

1. 研究開始当初の背景

運動の効率に関する研究は1900年代初頭より、数多くの研究者に注目されてきたスポーツ科学における長年の課題のひとつである。運動の効率は、スポーツのパフォーマンスにも深く関わっており、特に陸上競技長距離走やトライアスロンなどの持久系運動のパフォーマンスには影響が大きいと言われている。長距離走のパフォーマンスは、最大酸素摂取量、乳酸性作業閾値、ランニングエコノミーの3つで個人間の差異の約70%が説明できると言われており (di Prampero et al., 1986; Midgley et al., 2007), 中でも運動の効率の指標であるランニングエコノミーは近年、注目されている。

ランニングエコノミーとは、最大下の一定のランニングスピードにおける酸素摂取量のことであり、近年は単位距離あたりの生理学的エネルギー消費量として定義したエネルギーコストとして示されることも多い (Fletcher et al., 2009)。このランニングエコノミーには、バイオメカニクスの要因の影響が大きいことが報告されており (Williams and Cavanagh, 1987), 多くの研究者がランニングエコノミーに影響する動作を明らかにすることを試みてきた。しかしながら、競技レベルの異なる者の動作を比較するような研究では統一した見解は得られず、ランニングエコノミーを向上させる動作の特徴は特定に至らなかった。

そこで、Kramらの研究グループは、一連の研究を通してランニングをいくつかのタスクに分け、タスクごとにエネルギーコストを測定するTask-by-taskアプローチという方法でランニングのエネルギーコストに影響するタスクを明らかにした。そして、重力に抗して身体を持ち上げるタスクと身体を前方に推進するタスクがエネルギーコストの大部分を占めていることを報告している (Arellano and Kram, 2014)。Seki et al. (2019) は、鉛直方向への連続ジャンプを用いて、重力に抗して身体を持ち上げるタスクのエネルギーコストについて検討している。しかし、身体を前方に推進するタスクについては、通常の連続ジャンプでは検討することが困難である。

2. 研究の目的

本研究では、ランニングのMimicking exerciseである連続ジャンプを用いて、エネルギーコストに影響する下肢のバイオメカニクスの特徴を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 接地時間がエネルギーコストに及ぼす影響

9名の学生長距離ランナーを対象に、任意の接地時間の連続ジャンプと長い接地時間の連続ジャンプを3分間実施させた。動作をハイスピードカメラで120 fpsで、地面反力をフォースプラットフォームで1kHzで測定し、下肢のキネティクスを算出した。また、呼気ガスを呼気ガス分析器で測定し、エネルギーコスト (Seki et al., 2019) を算出した。

(2) 連続ジャンプとランニングの関係

2名の学生長距離ランナーを被験者に接地面の傾斜3条件 (上り傾斜, 平地, 下り傾斜) において2 Hzでの連続ジャンプを3分間行わせた。また、下り傾斜から上り傾斜までの5条件の傾斜条件での3分間のランニングを行わせた。両試技ともに運動中の呼気ガス, 血中乳酸濃度 (ランニングのみ), 動作を測定した。ジャンプでは身体の上下動のエネルギーコスト (単位距離身体を上昇させるために必要な生理学的エネルギー, Seki et al., 2019) を算出した。ランニングでは、単位距離を走るために必要な生理学的エネルギーとしてエネルギーコストを算出した。また、ランニング中の上下動に関わるエネルギーコストは、身体重心の上昇量と連続ジャンプにおけるエネルギーコストを用いて推定した。

(3) Sledge ジャンプ

15名の学生長距離ランナーを被験者に、斜度の異なるSledgeジャンプを4分間行わせた。Sledgeの斜度は水平面から18.5°, 23.0°, 27.5°の3条件を設定し、試技順は被験者ごとにランダムな順序で実施した。ジャンプの落下高は、23.5°における最大跳躍高の50%に設定した。また、補助者が高さを確認しながら、5秒に1回のペースで指定された落下高からSledgeを落下させ、被験者には可能な限り早く、元の高さまでジャンプするように指示した。

試技中の下肢の動作は、モーションキャプチャシステムを用いて、250 Hzで測定した。地面反力は、フォースプラットフォームを用いて、1 kHzで測定した。これらはモーションキャプチャシステム上で完全に同期して測定された。これらのデータから、下肢のキネマティクスおよびキネティクスが算出された。また、試技中の呼気ガスは、呼気ガス分析器を用いて測定され、生理学的エネルギー消費量を算出した。分析には、4分間の試技の最後の1分間が使用され、5回のジャンプの平均値を個人の値として用いた。

4. 研究成果

(1) 接地時間がエネルギーコストに及ぼす影響

エネルギーコストは接地時間が長い条件で有意に大きかったが、下肢関節の総力学的仕事は条件間に有意差は認められなかった。一方、関節ごとの力学的仕事の割合には有意差が認められ、通常の接地時間の条件では足関節の力学的仕事が大きく、接地時間の長い条件では足関節の力学的仕事が小さくなり、膝関節の力学的仕事が大きくなっていった。このことから、長い接地時間はエネルギーコストを増加させる原因のひとつであることが示唆された。また、その背景には下肢関節の力学的仕事の配分が影響している可能性がある。

(2) 連続ジャンプとランニングの関係

連続ジャンプにおけるエネルギーコストは、上り傾斜において最も小さく、下り傾斜で最も大きかった。ランニングにおけるエネルギーコストは下り傾斜も試技で小さく、上り傾斜の試技で大きくなった。推定された上下動に関わるエネルギーコストは、下り傾斜で小さく、上り傾斜で斜度に大きかった。上下動に関わるエネルギーコストと走路の斜度の関係を次の回帰式で示すことができる。

$$\text{Energy cost of vertical task} = 0.1064x + 1.5323 \quad (\text{Eq. 1})$$

ここで、 x は走路の斜度をを示す。回帰式において、エネルギーコストが0になる斜度は -14.4% であった。Minetti et al. (2002) は、エネルギーコストと走路の斜度の関係を報告しており、エネルギーコストが最も低くなる斜度は -20% と報告している。本研究と Minetti et al. (2002) の先行研究の値には若干の乖離があるものの、この乖離には、身体の上下動、つまり、重力に抗して体重を支持する仕事以外のタスクの影響があると考えられる。

(3) Sledge ジャンプ

生理学的エネルギー消費量は、すべての条件間に有意差が認められ、 18.5° で最も小さく、 27.5° で最も大きかった。いずれの条件においても、Sledgeの変位には有意差は認められなかった。これは運動方向に対して重力の影響が大きくなる斜度の大きい条件では、生理学的エネルギー消費量が大きかったことを示している。したがって、連続ジャンプにおいては、身体を前方に推進するタスクと比較して重力に抗して身体を持ち上げるタスクはエネルギーコストが大きいことが明らかになった。

生理学的エネルギー消費量と負の外的仕事との間に最も強い相関関係が認められた。また、負の力学的仕事は 27.5° で最も大きく、 18.5° で最も小さかった。負の力学的仕事は正の力学的仕事と比較してより経済的であることが知られている。また、負の力学的仕事は Stretch-shortening cycle (SSC) 筋活動の pre-stretch を示唆するものであり、斜度が大きい条件において負の力学的仕事が大きかったことは、下肢の伸筋の力学的効率が高かったことを示している可能性がある。しかしながら、Sledge ジャンプでは接地時間が約 0.7 s と長かったことから、SSC 筋活動による力学的効率の向上はほとんど生じなかった可能性がある。

膝関節の負の力学的仕事は生理学的エネルギー消費量との間に負の相関関係が認められ、この相関関係は関節の力学的仕事の中で最も強いものであった。Seki et al. (2019) の鉛直方向の連続ジャンプにおいて、膝関節と足関節の関係はエネルギーコストに影響する重要な要因として報告されており、膝関節の力学的効率は足関節と比較して低いことが明らかになっている (Sawicki et al., 2009)。本研究においても、膝関節の力学的仕事は生理学的エネルギー消費量が大きい条件において大きい値を示しており、エネルギー消費量を増加させる要因のひとつであると考えられる。

<引用文献>

- Arellano, C.J. and Kram, R. (2014) Partitioning the metabolic cost of human running: A task-by-task approach. *Integr Comp Biol*, 54(6): 1084–1098.
- di Prampero, P.E., Atchou, G., Bruckner J.C., and Moia, C. (1986) The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 55(3): 259–266.
- Fletcher, J.R., Esau, S.P., and Macintosh, B.R. (2009) Economy of running: beyond the measurement of

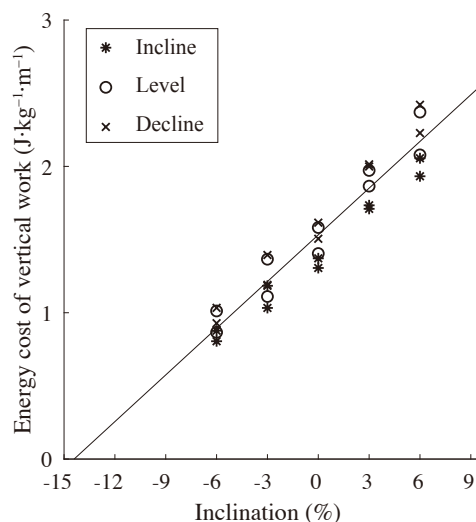


図1 斜度と推定された上下動のエネルギーコストの関係

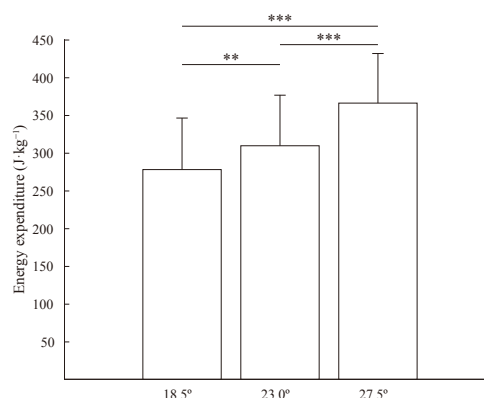


図2 各斜度の Sledge ジャンプにおける生理学的エネルギー消費量

- oxygen uptake. *J Appl Physiol*, 107(6):1918–1922.
- Midgley, A.W., McNaughton, L.R., and Jones, A.M. (2007) Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and based on current scientific knowledge?. *Sports Med*, 37(10): 857–880.
- Minetti, A.E., Moia, C., Roi, G.S., Susta, D., and Ferretti, G. (2002) Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *J Appl Physiol*, 93(3): 1039–1046.
- Sawicki, G.S., Lewis, C.L., Ferris, D.P. (2009) It pays to have a spring in your step. *Exerc Sport Sci Rev*, 37(3): 130–138.
- Seki, K., Kyröläinen, H., Numazu, N., Ohyama-Byun, K., and Enomoto Y. (2019) Effects of joint kinetics on energy cost during repeated vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 51(3): 532–538.
- Williams, K.R. and Cavanagh, P.R. (1987) Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *J Appl Physiol*, 63(3): 1236–1245.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Keitaro Seki, Heikki Kyrolainen, Yasushi Enomoto
2. 発表標題 Energy cost and lower limb biomechanics of repeated vertical jumping at different contact times
3. 学会等名 International Society of Biomechanics in Sports 2020 Online (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keitaro Seki
2. 発表標題 Estimation of energy cost of vertical work during running
3. 学会等名 XXIV International Scientific Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------