

不安定性を有するシューズの着用がマラソン後のリカバリーに有効か？

研究代表者：中川剣人¹

共同研究者：稲見崇孝²

1) 早稲田大学 スポーツ科学学術院

2) 慶應義塾大学 体育研究所

1. 緒言

ランニングブームによりフルマラソンの参加者は年々増加している (Running USA 2014)。しかしながら、このような非常に長い距離を走ることは、疲労を生み、下肢の怪我にも繋がりがやすい (Satterthwaite et al. 1996; Van Middelkoop et al, 2007; 2008)。フルマラソンのレースによる疲労や筋のダメージによって、仕事、家事や学業の効率が悪化するなど、日常生活に支障をきたすことが示されている (クロス・マーケティング社 2013)。競技ランナーにとっても、フルマラソンレースによるダメージが長引くことによって、トレーニング計画に狂いが生じる。よって、市民ランナー、競技ランナー双方にとって、フルマラソンによるダメージの早期回復が重要となる。

フルマラソンからの回復に効果的な方法を提案するにあたり、我々は日常生活に用いる履物に着目した。特に、ここでは、ソールが丸く作られており、不安定性を生む特殊なシューズである Masai Barefoot Technology (以下: MBT) (MBT USA, USA) が持つ機能に着目した。MBT は不安定性を生み出すことで下肢の神経・筋活動を高め、身体運動機能を高めることをコンセプトにしている (Nigg et al. 2012)。実際、MBT を履くことで、静止立位時は不安定性が増すこと (Landry et al. 2010; Nigg et al. 2006a)、それによる姿勢制御能力の向上 (Nigg et al. 2006b)、下肢筋活動の増大 (Branthwaite et al. 2013; Buchecker et al. 2012; Nigg et al. 2012; Nigg et al. 2006a; Romkes et al. 2006)、歩行中の足関節動作範囲の増加 (Nigg et al. 2012; Roberts et al. 2011; Taniguchi et al. 2012) などが確認されている。よって、MBT を履くことで、身体機能になんらかの好影響があると推定される。

我々は、最近、フルマラソンを走ったあと、MBT を履いて生活することで、疲労感が早く軽減されることを示した (Nakagawa et al. 2014)。しかし、この先行研究では、アンケートによる主観的な指標のみの計測にとどまっているため、より客観的な指標を用いた MBT の回復促進効果の検証が望まれる。また、下肢のどの部位に特に有効なのかについても明らかではない。

そこで、本研究では、下肢の局所的な筋ダメージの程度を調べるため、特定の筋の機械的な特性を評価できる筋硬度 (Inami et al. 2017)、および筋の機能性、特に張力を評価する関節トルクを計測する。我々は、MBT を履くことで、フルマラソン完走によって硬化した筋、低下した関節トルクの回復が促進されると仮説を立てた。

2. 研究方法

2-1. 被験者

本研究では、ランニング習慣のある大学生 25 名を対象とし、ランダムに二群（介入群、統制群）に分けた。介入群（年齢 20 ± 1 歳、BMI 20.0 ± 1.9 、11 名（男性 7 名、女性 4 名））は、レース完走直後から 8 日間、MBT を履いて生活した。統制群（年齢 20 ± 1 歳、BMI 20.2 ± 1.7 、14 名（男性 8 名、女性 6 名））は日常的に利用している履物を履いて生活した。統制群の 3 名は、レース後 3 日目までで計測に参加できず、結果的に全日程参加した被験者は、各群 11 名であった。なお、我々の先行研究（Nakagawa et al. 2014）では、統制群と偽シューズを履くプラセボ群との間に主観的疲労感の差が無かったため、今回の測定ではプラセボ群は設けなかった。全ての被験者は、MBT に関する事前知識・経験は無かった。また、事前に全被験者からインフォームドコンセントを取得し、早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得てから研究を開始した。

2-2. プロトコル

安静中の筋硬度、最大随意等尺性筋発揮中の関節トルクをレース前、レース直後、1 日後、3 日後、8 日後に計測した。レースの 3 日前に実験室にてレース前計測を行った。その際、全被験者に MBT の使い方について簡単な講習を行った。レース直後の計測では、マラソン大会会場フィニッシュライン付近に設置された特設ブース内で計測を行った。直後計測が終わり次第、各被験者は介入群か統制群かを知らされた。介入群の被験者は、そのときから MBT に履き替えて生活してもらった。実験期間中、スポーツ活動やトレーニング、マッサージなど回復を促進することを禁じた。また、レース直後計測においては、計測時間がタイトであったため、大腿部の筋硬度は測定できなかった。また、以下の各指標の計測は、シングルブラインド・デザイン（実験者は被験者がどちらの群か分からない）にて行われた。

2-3. トルク測定

足関節背屈、足関節底屈、膝関節伸展、膝関節屈曲の四種類の関節トルクを計測した。いずれも、最大随意等尺性筋発揮の際のトルクを計測した。膝関節伸展は座位にて行い、その他は腹臥位にて計測した。いずれも、測定者によって足関節、膝関節は 90 度に固定し、徒手筋力計（MicroFET2, HOGGAN Scientific, USA）にて計測した。各試行 2 回ずつ行い、平均値を統計処理に用いた。

2-4. 筋硬度計測

エラストグラフィ機能を搭載した超音波装置（Nobuls, Hitachi, Japan）にて筋硬度を評価した。計測した筋は、腓腹筋（下腿長近位 30%）、ヒラメ筋（下腿長近位 60%）、前脛骨筋（下腿長近位 30%）、大腿二頭筋、外側広筋、大腿直筋（いずれも大腿長 50%）の 6 筋で、トランスデューサー（EUP-L65, Hitachi, Japan）を各筋の筋腹に対して垂直に配置することで部位を同定した。トランスデューサーには、専用の音響カップラー（EZU-TECPL1, Hitachi, Japan、

22.6kPa) を取り付け超音波撮像領域内の基準物質とし、関心領域である筋とのひずみの比 (strain ratio) を筋硬度の指標として算出した (Inami et al. 2017)。

2-5. 行動指標

フルマラソンレースの公式タイムを記録した。また、リカバリー期間中、歩数計にて日常生活の歩数を記録し、日常生活運動強度の指標とした。

2-6. 統計処理

関節トルク、筋硬度はレース前計測時の数値を 100% として正規化した。その後、Shapiro-Wilk 検定、Levene 検定にて正規性、等分散性を検定した。正規性、等分散性とも認められた場合、二元配置分散分析 (時間経過×群) を実施した後、Holm 検定にて事後検定を行った。正規性、等分散性がいずれかあるいは両方とも認められなかった場合、ノンパラメトリック検定 (Friedman 検定、Wilcoxon 検定) を実施した。

3. 結果

3-1. 行動指標

レースタイムは介入群で 4.25 ± 0.81 時間、統制群で 4.05 ± 0.95 時間であり、有意差は認められなかった。また、リカバリー期間の一日あたりの歩数は介入群で 9601 ± 2132 歩、 10571 ± 3589 歩であり、有意差は認められなかった。

3-2. 関節トルク (図 1)

膝関節伸展トルクにおいて、レース 1 日後から 3 日後の回復量は、介入群の方が統制群よりも有意に大きかった。また、膝関節屈曲トルクにおいて、統制群ではレース後の有意な低下が 8 日後まで見られたが、介入群では 1 日後のみしか見られなかった。

3-3. 筋硬度 (strain ratio) (図 2)

腓腹筋において、統制群ではレースによる筋の有意な硬化が 8 日後でも見られるが、介入群では 3 日後には消失した。前脛骨筋においては、レースによる筋の硬化は統制群では 3 日後まで見られたが、介入群では見られなかった。また、外側広筋では、レース 3 日後、8 日後において、介入群より統制群の方が有意に硬かった。大腿二頭筋においては、レースによる筋の硬化は統制群では 8 日後でも見られるが、介入群では見られなかった。

4. 考察

本研究の目的は、MBT を履くことがフルマラソン後の筋ダメージの回復に有効かどうか客観的指標を用いて検討することであった。本研究の結果より、膝関節屈曲トルク、腓腹筋、

前脛骨筋、外側広筋、大腿二頭筋の筋硬度において、介入群の方がレース後のダメージからの回復が促進された可能性を得た。マラソントイムとリカバリー期間の歩数が群間で有意差が無かったことから、走力や日常生活運動強度は回復の群間差を生む要因ではないと判断できる。

介入群で見られた回復の優位性は、MBT を履くことで下肢の筋活動が増大すること (Buchecker et al. 2012; Nigg et al. 2006a; Romkes et al. 2006)、歩行中の足関節関節背屈可動域が増大すること (Nigg et al. 2012; Roberts et al. 2011; Taniguchi et al. 2012) が一要因であると考えられる。さらに、不安定性を有する靴を履くと下腿の血流量が増えることが示されている (Yamamoto et al. 2000)。つまり、MBT を履くと、多くの筋の活動量が大きくなり、下腿がストレッチされることで、筋ポンプ効果が得られ、血流量が増え、結果的に回復が促進されたと推定される。

介入群にて MBT を履くことの有意性が確認されたが、介入群の被験者間個人差は非常に大きかった。群内・群間の有意差が得られなかった原因の一つがこの大きな個人差にあるかもしれない。MBT を履くことによる効果に関する個人差は先行研究でも確認されており、特に、これは MBT に不慣れな初心者に顕著であることが示されている (Branthwaite et al. 2013; Nigg et al. 2012)。MBT を履き始めて少なくとも 1 カ月程度経過しないと、動作や筋活動の有意な変化が見られない報告もあることから (Landry et al. 2010; Romkes et al. 2006; Stöggl et al. 2010)、本研究においてはすべての被験者は MBT 未経験者であったため、個人差が大きくなり、回復促進効果も統計的に観察しにくかった可能性がある。もし、介入群の被験者に対して事前に MBT 指導を行っていたら、より顕著な回復促進効果が得られたかもしれない。

5. 結論

本研究では、フルマラソンレース後に不安定性を有する MBT シューズを履いて生活することで、下肢の下腿部・大腿部の筋硬度および膝関節屈曲トルクの回復が促進されることが示された。

日常生活に用いる履物を変えるだけで回復が促進されるため、ランナーにとっては、特別な時間・労力を要することのない効果的な回復手法である可能性がある。

7. 参考文献

- Branthwaite H, Chockalingam N, Pandyan A, Khatri G. Evaluation of lower limb electromyographic activity when using unstable shoes for the first time: a pilot quasi control trial. *Prosthet Orthot Int*. 2013; **37**: 275-281.
- Buchecker M, Wagner H, Pfusterschmied J, Stoggl TL, Muller E. Lower extremity joint loading during level walking with Masai barefoot technology shoes in overweight males. *Scand J Med Sci Sports*. 2012; **22**: 372-380.
- Inami T, Tsujimura T, Shimizu T, Watanabe T, Lau W, Nosaka K. Relationship between isometric contraction intensity and muscle hardness assessed by ultrasound strain elastography. *Eur J Appl Physiol*. 2017
- Landry SC, Nigg BM, Tecante KE. Standing in an unstable shoe increases postural sway and muscle activity of selected smaller extrinsic foot muscles. *Gait Posture*. 2010; **32**: 215-219.
- Nakagawa K, Obu T, Kanosue K. Post-marathon wearing of Masai Barefoot Technology shoes facilitates recovery from race-induced fatigue: an evaluation utilizing a visual analog scale. *Open Access J Sports Med*. 2014; **5**: 267-271.
- Nigg B, Federolf PA, von Tscharnner V, Nigg S. Unstable shoes: functional concepts and scientific evidence. *Footwear Science*. 2012; **4**: 73-82.
- Nigg B, Hintzen S, Ferber R. Effect of an unstable shoe construction on lower extremity gait characteristics. *Clin Biomech*. 2006a; **21**: 82-88.
- Roberts S, Birch I, Otter S. Comparison of ankle and subtalar joint complex range of motion during barefoot walking and walking in Masai Barefoot Technology sandals. *J Foot Ankle Res*. 2011; **4**: 1.
- Romkes J, Rudmann C, Brunner R. Changes in gait and EMG when walking with the Masai Barefoot Technique. *Clin Biomech*. 2006; **21**: 75-81.
- Running USA Inc. [webpage on the Internet]. Running USA Annual Marathon Report; March 23, 2014. Available from: <http://www.runningusa.org/marathon-report-2014?returnTo=annual-reports>. Accessed February 4, 2017.
- Satterthwaite P, Larmer P, Gardiner J, Norton R. Incidence of injuries and other health problems in the Auckland Citibank marathon, 1993. *Br J Sports Med*. 1996; **30**:

324-326.

Stöggl T, Haudum A, Birklbauer J, Murrer M, Müller E. Short and long term adaptation of variability during walking using unstable (MBT) shoes. *Clin Biomech.* 2010; **25**: 816-822.

Taniguchi M, Tateuchi H, Takeoka T, Ichihashi N. Kinematic and kinetic characteristics of Masai Barefoot Technology footwear. *Gait Posture.* 2012; **35**: 567-572.

Van Middelkoop M, Kolkman J, Van Ochten J, Bierma-Zeinstra SM, Koes B. Prevalence and incidence of lower extremity injuries in male marathon runners. *Scand J Med Sci Sports.* 2008; **18**: 140-144.

Van Middelkoop M, Kolkman J, Van Ochten J, Bierma-Zeinstra SM, Koes BW. Course and predicting factors of lower-extremity injuries after running a marathon. *Clin J Sport Med.* 2007; **17**: 25-30.

Yamamoto T, Ohkuwa T, Itoh H, Yamazaki Y, Sato Y. Walking at moderate speed with heel-less shoes increases calf blood flow. *Arch Physiol Biochem.* 2000; **108**: 398-404.

クロス・マーケティング社. 「マラソンランナーの疲労」に関する意識調査 2013. Available from: <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000003.000004729.html> Accessed February 4, 2017.

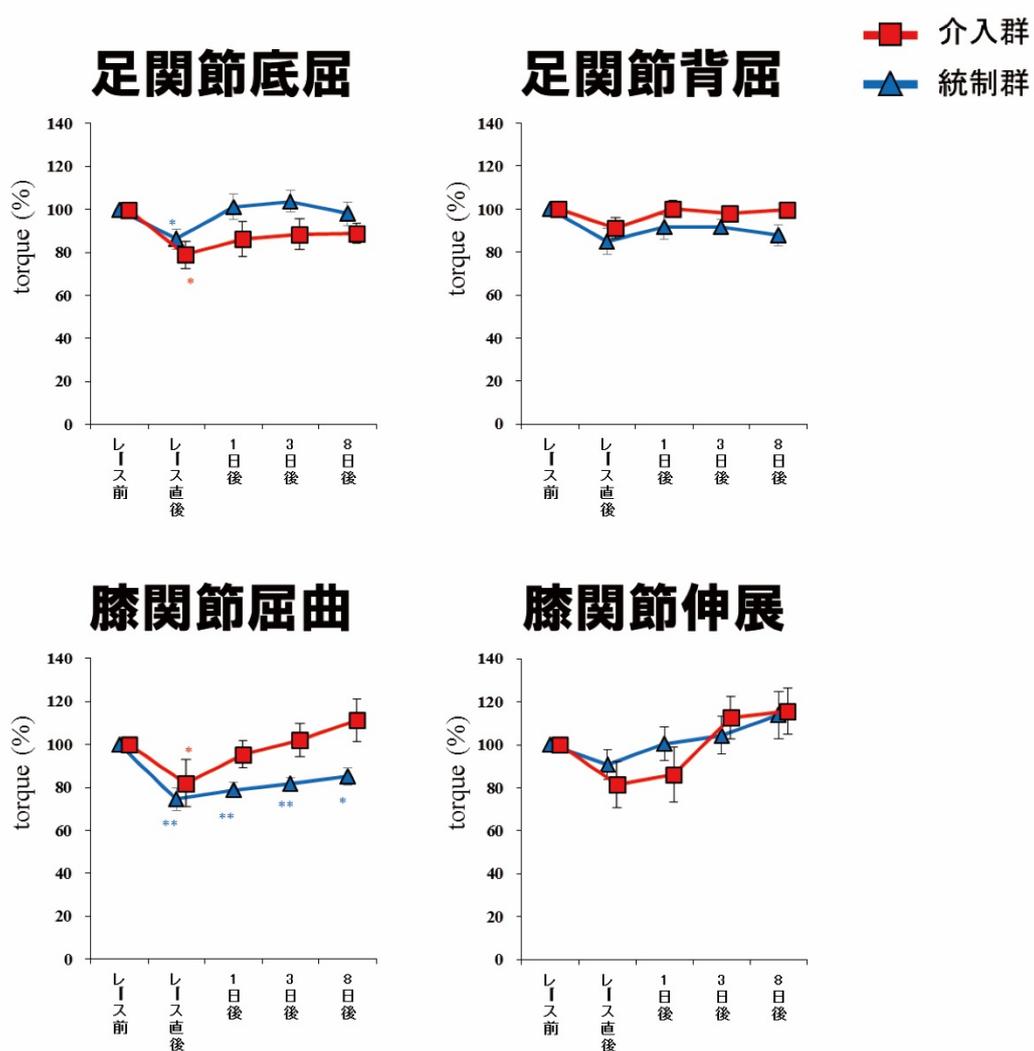


図1. 関節トルク

赤色（介入群）、青色（統制群）それぞれのアスタリスクマーク（*）はレース前と各時点での有意差を示す。データは平均値±標準誤差で示されている。

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

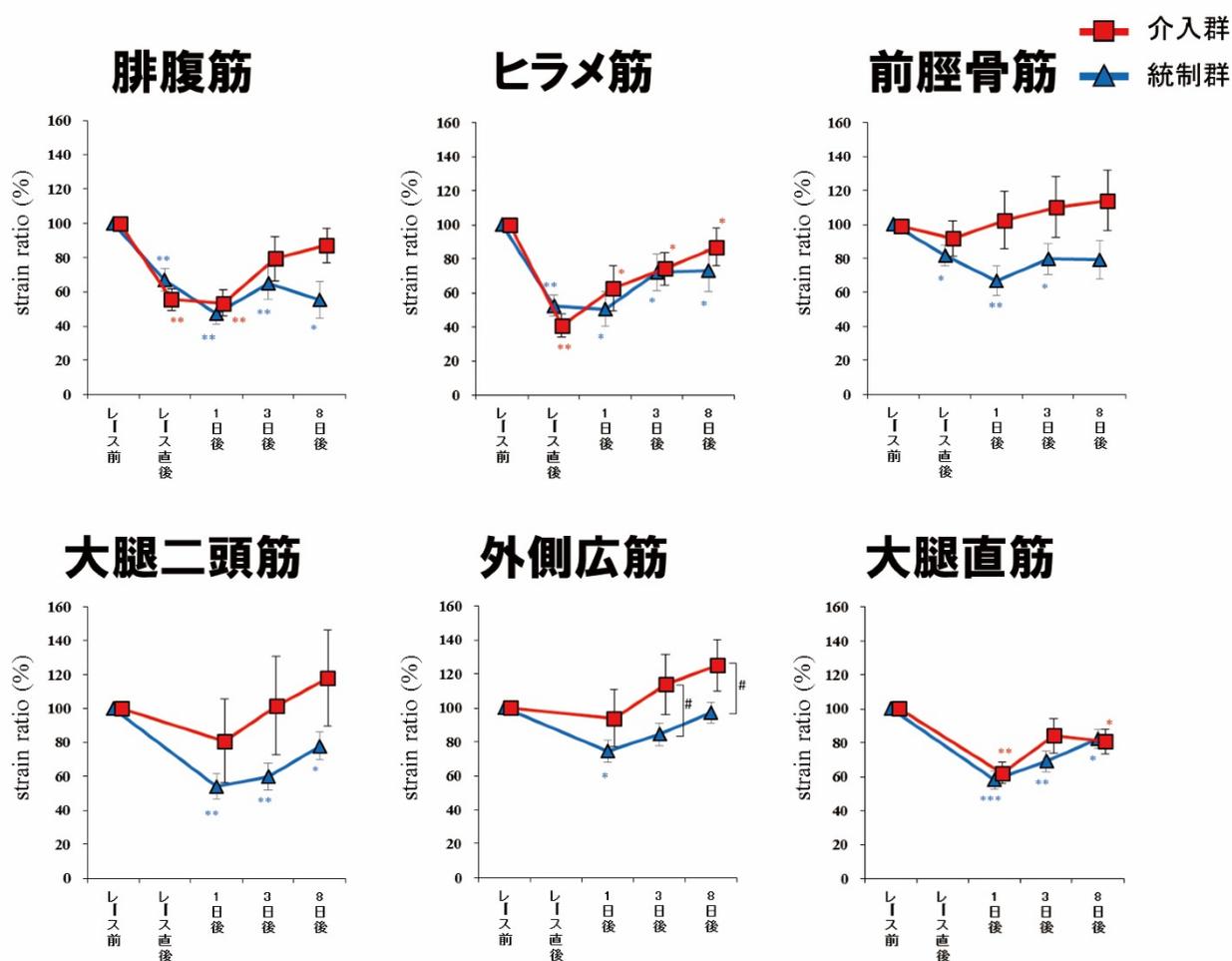


図2. 筋硬度 (strain ratio)

赤色 (介入群)、青色 (統制群) それぞれのアスタリスクマーク (*) はレース前と各時点での有意差を示す。シャープマーク (#) は各時点での群間差を示す。データは平均値±標準誤差で示されている。

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, # : $p < 0.05$