

トランポリン跳躍後の垂直跳びにおける主観的な跳躍高と 実際の跳躍高の経時的变化

井出 拓見¹⁾・荒牧 勇²⁾

Temporal changes of subjective and real height in vertical jump
after repeated trampoline jumps

Takumi IDE, Yu ARAMAKI

Abstract

When performing a vertical jump on a rigid surface shortly after engaging in repeated trampoline jumps, individuals may experience a decrease in, and tendency to underestimate, their own jump height. However, by performing repeated vertical jumps, jump height recovers and jump height can be estimated accurately. That is, motor and cognitive aftereffects diminish by performing movements repeatedly (re-adaptation). Motor aftereffects also decrease from the passage of time since the prior movements. However, the time-series recovery process of cognitive aftereffects without repeated movement remains unclear. Accordingly, we aimed to investigate whether cognitive aftereffects decrease depending on only the passage of time using subjective jump height in vertical jumps after repeated trampoline jumps. Nine subjects performed vertical jumping on a rigid force plate before (Pre-Test) and after (Post-Test) completing repeated trampoline jumps. In the Pre-Test, the subjects performed three vertical jumps and the experimenter told them their average jump height. Then, the subjects performed 30 trampoline jumps. There were three conditions in terms of the time that elapsed between the end of the repeated trampoline jumps and the first vertical jump in the Post-Test (0 s, 30 s, and 60 s). In the Post-Test, the subjects performed five vertical jumps. Each time the subjects performed a vertical jump, they were asked to subjectively estimate their own performed vertical jump height (EH: Estimated Height) based on the Pre-Test average height without feedback regarding the actual performed height (RH: Real Height). In our analysis, we focused on the first jump value from the Post-Test in each condition. In the 0 s condition, RH and EH significantly decreased compared to Pre-Test average jump height. Although RH recovered in the 30 s and 60 s conditions, EH remained low. Thus, we observed a significant dissociation between RH and EH in the 30 s and 60 s conditions. These results indicate that the amount of time between the repeated trampoline jumps and the vertical jump on a rigid surface had a strong effect on motor re-adaptation. In contrast, it is suggested that cognitive re-adaptation after repeated trampoline jumps needs more time because the subjective jump height remains lower than the actual jump height for at least 60 seconds.

¹⁾中京大学大学院スポーツ科学研究科

²⁾中京大学スポーツ科学部

1. 緒言

ヒトの身体運動や、遂行した運動に対する認知は、先行して行っていた運動に大きく影響される。このことを、先行運動の後効果と呼ぶ。例えば、おもりを付けたバットをスイングした後に通常のバットをスイングすると、スイング速度が低下しているにもかかわらず、普段より速くスイングできていると感じる¹²⁾。また、Márquezら⁹⁾は、トランポリンを跳躍してから垂直跳びを行うと、跳躍高が低下するだけではなく、自身の垂直跳びの跳躍高を正確に認知できず過少推定してしまうことを報告している。

身体運動や運動認知に対する先行運動の後効果は永続的なものではない。おもりを付けたバットをスイングすることで低下した通常のバットのスイング速度は、2回目のバットスイングで回復する¹²⁾。また、トランポリンを跳躍した直後の平地での垂直跳びでは、4回程度の垂直跳びを繰り返すことで跳躍高が回復し、跳躍高の主観的推定も回復する⁹⁾。これらのことから、別の道具の使用や別の環境への曝露により身体運動や運動認知に生じた後効果は、元の道具を使用しての、あるいは、元の環境の中での運動試行を繰り返すことにより消失することがわかる。また、特に身体運動においては、先行運動を終えてからの時間経過も後効果を消失させることが報告されている。Criscimagna-HemmingerとShadmehr³⁾は、モーターによる力場を外乱とする腕到達運動課題を学習した後に、その学習効果が時間経過によって減少することを報告している。

以上のことから、先行運動の後効果が消失し、元の身体運動に再適応していくプロセスには、「運動試行」や「時間経過」が大きく影響していることが明らかとなっている。しかしながら、自身が遂行した運動に対する認知が再適応していくプロセスについては、「運動試行」が重要であることは報告されているものの、「時間経過」の影響については調べられていない。また、「時間経過」が、身体運動と運動認知の後効果消失に同じように影響するか否かも不明であ

る。したがって本研究では、先行運動が終了してから再度元の環境で運動を行うまでの時間経過が、遂行する運動とその運動の認知にどのように影響するかを明らかにすることを目的とする。このため、トランポリンを跳躍し終えてから垂直跳びを行うまでの時間間隔を段階的に設定し、実際の跳躍高と主観的な跳躍高の回復の過程を観察する。

2. 方法

2-1. 被験者

整形外科的疾患または神経学的疾患の病歴を有さない、健常な成人男性9名が実験に参加した(年齢: 23.1 ± 1.0 歳、身長: 171.0 ± 4.9 cm、体重: 70.1 ± 10.9 kg)。被験者には実験参加に先立ち、実験の概要、リスク及び利益に関する説明がなされた。すべての被験者から書面によるインフォームドコンセントを得た。本実験は中京大学倫理審査委員会の承認のもと実施した(承認番号: 2020-47)。

2-2. 手順

被験者はまず、フォースプレート(Ex-Jumper, Q'sfix, Japan)の上にて垂直跳びを3回実施した(Pre-Test)。Pre-Test終了後、実験者から被験者に対して3回の垂直跳びの平均跳躍高をフィードバックした。1分間の休憩を挟み、被験者はメトロノームの1.2Hz(72bpm)の音に合わせてトランポリンを30回跳躍し、再度フォースプレートの上にて垂直跳びを5回実施した(Post-Test)。トランポリンを跳躍し終えてからPost-Testを開始するまでは、3つの時間間隔の条件を設けた(0、30、60s)。0s条件においては、被験者はトランポリンを跳躍し終えたのちすぐにPost-Testを開始し、30s条件と60s条件においては、トランポリンを跳躍し終えたのちそれぞれ30秒、60秒経過してからPost-Testを開始した。Post-Testにおいては、被験者は垂直跳びを1回行うごとに、Pre-Test終了後にフィードバックされた自身の垂直跳びの平均跳躍高を参考に、自身が遂行した垂直跳びの実際の跳躍高(Real Height: RH)

が何cmであったかを0.1cm単位で主観的に推定し、実験者に口頭で伝えた（Estimated Height: EH）。被験者の推定したEHがRHに対してどの程度正確であったかは、被験者のその後の跳躍高推定時のバイアスとなるのを防ぐ観点から、全条件の実験が終了するまでフィードバックしないものとした。異なる時間間隔の条件の実験は48時間以上空けた別日に実施した。実験手順を図1に示す。

2-3. 解析

Post-Testでは5回の垂直跳びを行ったが、本研

究では時間経過による実際の跳躍高と主観的な跳躍高の回復に注目するため、解析対象は各時間条件のPost-Test1 試行目の垂直跳びのみとした。図2に被験者の地面反力、および速度の例を示す。被験者の垂直跳びの跳躍高は、フォースプレートにかかる地面反力が50N以下になる地点を離地点とし、その地点における地面反力の積分値である速度をVoff、重力加速度9.81m/s²をgとし、以下の式に代入することで算出した。

$$\text{Jump Height (m)} = \frac{V_{\text{off}}^2}{2g}$$

Post-TestにおけるRHとEHは、Pre-Testの平

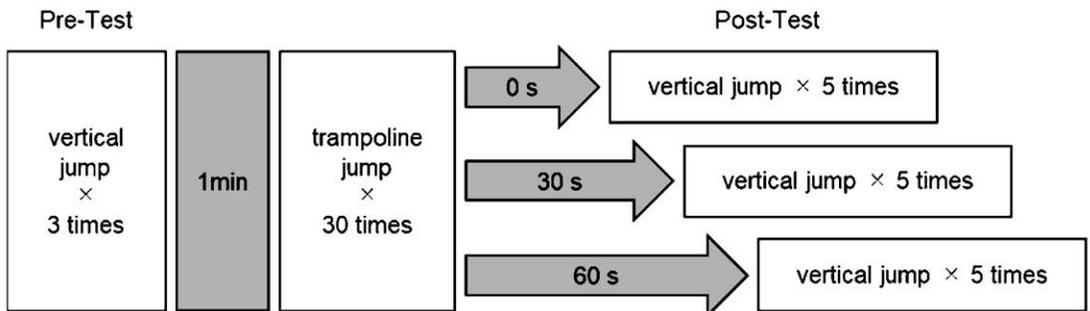


図1 実験手順

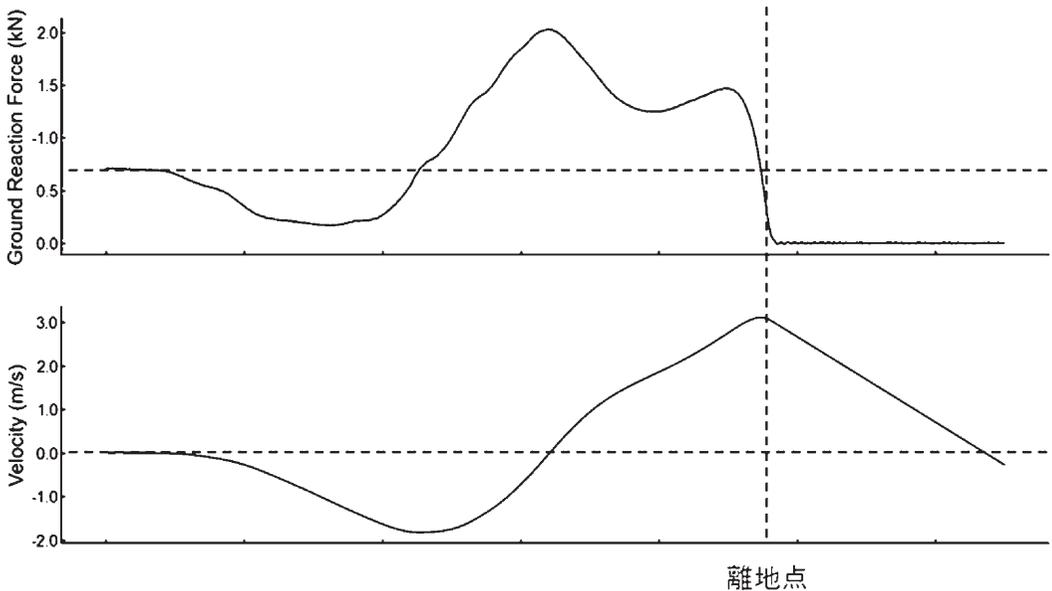


図2 垂直跳び時の地面反力波形と速度波形の例、および離地点の速度（Voff）の定義

均跳躍高をベースラインとして変化率を算出した $((\text{Post value} - \text{Pre average}) / \text{Pre average} \times 100)$ 。1名の被験者がRHの変化率において+2SDの範囲を超えてしまったため、以降のデータ解析からは除外した。トランポリンを跳躍することによって、RHとEHがPre-Testの平均跳躍高に対して変化しているかどうかを検証するため、RHとEHの変化率に対して1サンプルt検定を実施し、Pre-Testと比較した。また、自身の跳躍高を過少推定しているかどうかを検証するため、各時間条件のRHの変化率とEHの変化率の間において対応のあるt検定を実施し、実際の跳躍高と推定した跳躍高に差が生じているかどうかを検証した。本研究における有意水準は5%とした。また、平均値の差を標準偏差で割って効果量dを算出した。効果量dは、 ≥ 0.2 が小さい効果量、 ≥ 0.5 が中程度の効果量、 ≥ 0.8 が大きな効果量とした²⁾。統計解析にはIBM SPSS Statistics 26を用いた。

3. 結果

Pre-Testの平均跳躍高をベースラインとしたPost-TestのRHとEHの変化率を図3に示す。1サンプルt検定の結果、0s条件においてはRH、EHともに有意に低下しており、大きな効果量が観られた (RH: $-8.75 \pm 1.85\%$, $t_{(7)} = -13.36$, $p < 0.001$, $d = 4.72$; EH: $-6.77 \pm 3.17\%$, $t_{(7)} = -6.05$, $p < 0.001$, $d = 2.14$)。一方で、30s条件と60s条件においては、RHに有意差は観られなかったものの、EHは有意に低下しており、大きな効果量が観られた (30s: $-5.98 \pm 3.85\%$, $t_{(7)} = -4.39$, $p = 0.003$, $d = 1.55$; 60s: $-5.40 \pm 1.96\%$, $t_{(7)} = -7.81$, $p < 0.001$, $d = 2.76$)。また、各時間条件のRHとEHの変化率の間で対応のあるt検定を実施した結果、0s条件では有意差は観測されなかったものの、30s条件と60s条件においては有意差が観られ、大きな効果量が観られた (30s: $t_{(7)} = 2.56$, $p = 0.037$, $d = 1.23$; 60s: $t_{(7)} = 3.26$, $p = 0.014$, $d = 1.18$)。

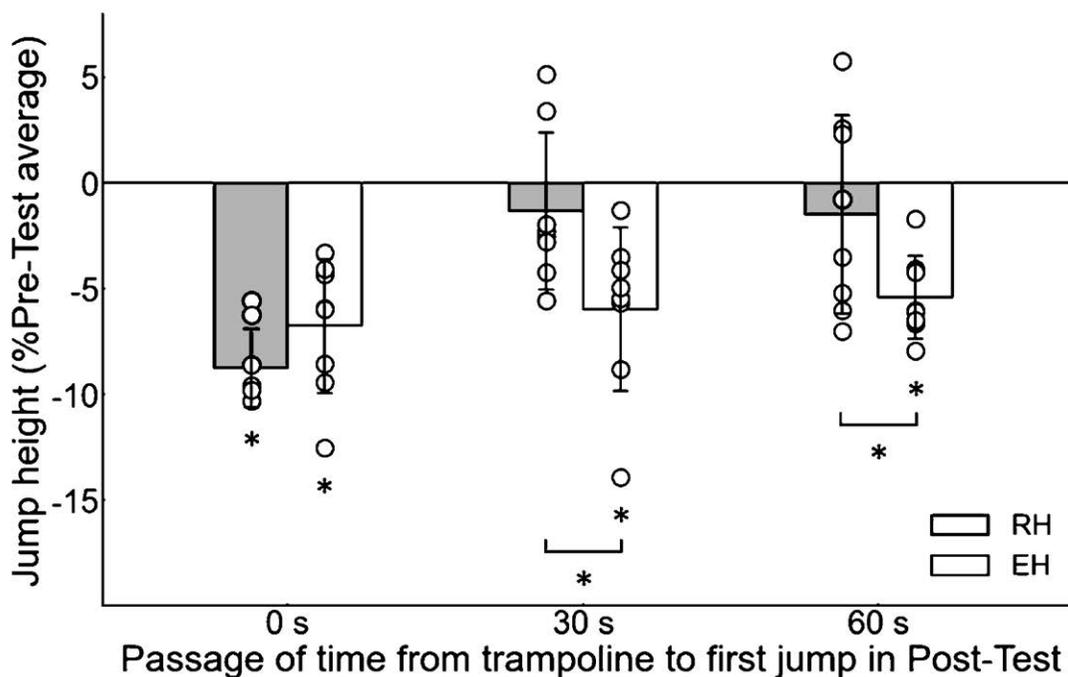


図3 各時間条件のPre-Testの平均値をベースラインとして算出したPost-Test 1試行目のRHとEHの変化率。* $p < 0.05$

4. 考察

本研究は、先行運動が終了してから再度元の環境で運動を行うまでの時間経過が、遂行する運動とその運動の認知にどのように影響するかを明らかにすることを目的とし、トランポリンを跳躍し終えてからの時間経過が、垂直跳びの実際の跳躍高と主観的な跳躍高に及ぼす影響を観察した。その結果、0s条件における主観的な跳躍高と実際の跳躍高はトランポリンを跳躍する前の垂直跳びの跳躍高よりも著しく低下していた。一方で、トランポリンを跳躍し終えてから30~60秒経過してから垂直跳びを行うと、トランポリンを跳躍する前の垂直跳びと同等な跳躍高が得られたにもかかわらず、主観的な跳躍高は低下したままであった。先行研究⁹⁾のようなトランポリンを跳躍した直後の跳躍高の過少推定は観られなかったものの、この結果は、トランポリンを跳躍し終えてから30秒経過、さらには1分経過しても主観的な跳躍高の低下が持続していることを示している。したがって、少なくとも1分の時間経過では、跳躍高の主観的推定は回復しないこと、また、先行運動の影響によって生じる身体運動と運動認知の後効果の時間経過による回復過程は、それぞれ異なるプロセスをたどることが明らかとなった。

4-1. 身体運動の再適応プロセスに対する「時間経過」の影響のメカニズム

Márquezら⁹⁾は、トランポリンを跳躍した直後に行う垂直跳びでは、しゃがみ込みの深さが浅くなり、下肢のスティフネスが増大することを報告している。また、宮内と福村¹¹⁾は、トランポリンを跳躍した後の垂直跳びでは、膝を十分に屈曲できなくなることを報告している。ドロップジャンプやカウンタームーブメントジャンプにおいては、しゃがみ込み時の膝関節の屈曲角度が増大すると、十分な跳躍高が得られないことが報告されている⁵⁾。以上のことを踏まえると、トランポリンを跳躍することによって増大した下肢のスティフネスが、膝を十分に屈曲する動作を阻害してしまい、跳躍高の低下に

つながった可能性が考えられる。一方で、一時的に変化した筋腱複合体のスティフネスや筋の力学的特性は時間経過とともに回復することも報告されている^{7), 10)}。また松原ら⁸⁾は、等尺性膝伸展運動により向上した筋硬度は、時間経過によって回復することを報告している。これらのことを踏まえると、本研究の30s、60s条件においては、トランポリンの跳躍によって変容してしまった下肢の筋の特性が元の状態へと回復しており、それに伴ってしゃがみ込みの動作なども正常に行うことが可能となり、跳躍高が回復したことが考えられる。

4-2. 運動認知の再適応プロセスに対する「時間経過」の影響のメカニズム

次の状況を予測しどの程度の力を発揮するのかは、直前までの運動の経験に依存して決定される¹⁴⁾。また、ReynoldsとBronstein¹³⁾は、たとえ次の状況が予測可能であっても、表出される運動は、直前までの運動の影響を受けていることを報告している。これらのことは、たとえ運動を行う状況が変化し、意識的にはそのことを認識できても、予測システムは無意識的に先行して行っていた運動や文脈に依存していることを示している。さらに、運動遂行時に、その運動により生じると予測していた感覚と実際に生じた感覚が異なっていると、奇妙な感覚が生じる^{1), 4)}。以上のことを踏まえると、本研究においてトランポリンを跳躍した後に垂直跳びを行うとき、無意識的に「トランポリンを跳躍することにより生じる感覚」を予測していたが、実際に生じた感覚は「平地を垂直跳びすることにより生じる感覚」であったため、通常の垂直跳びでは発生しえない奇妙な感覚が発生したことが考えられる。この垂直跳び時の奇妙な感覚によって、被験者は遂行した垂直跳びは普段通りの垂直跳びではないと認知し、主観的に跳躍高を低く推定してしまった可能性がある。

本研究では、跳躍高の過少推定は実験条件として設定した上限の1分が経過しても持続したため、「時間経過」による運動認知の再適応は観察されなかった。しかしながら、先行研究に

おいてはより長い時間をかけることで、学習効果や後効果といった先行運動の影響が減少していくことが報告されている^{3), 6)}。そのため、トランポリンを跳躍し終えてから垂直跳びを行うまでより長い時間間隔を設ければ、「時間経過」により自身の遂行した垂直跳びの跳躍高を正確に認知できるように再適応していく過程を観察することができるかもしれない。

5. 結論

トランポリンを跳躍してから1分経過すると垂直跳びの跳躍高は回復したが、主観的な跳躍高は回復しなかった。よって、時間経過により先行運動の後効果が消失して身体運動が再適応していくプロセスと運動認知が再適応していくプロセスは、それぞれ異なることが示唆された。

引用文献

- 1) Blakemore SJ, Frith CD, Wolpert DM. Spatio-temporal prediction modulates the perception of self-produced stimuli. *J Cogn Neurosci*. Sep; 11(5): 551-9, 1999.
- 2) Cohen J. A power primer. *Psychol Bull*. Jul; 112(1): 155-9, 1992.
- 3) Criscimagna-Hemminger SE, Shadmehr R. Consolidation patterns of human motor memory. *J Neurosci*. Sep 24; 28(39): 9610-8, 2008.
- 4) Fukui T, Kimura T, Kadota K, Shimojo S, Gomi H. Odd sensation induced by moving-phantom which triggers subconscious motor program. *PLoS One*. Jun 3; 4(6): e5782, 2009.
- 5) Gheller RG, Dal Pupo J, Ache-Dias J, Detanico D, Padulo J, dos Santos SG. Effect of different knee starting angles on intersegmental coordination and performance in vertical jumps. *Hum Mov Sci*. Aug; 42: 71-80, 2015.
- 6) Hatada Y, Miall RC, Rossetti Y. Two waves of a long-lasting aftereffect of prism adaptation measured over 7 days. *Exp Brain Res*. Mar; 169(3): 417-26, 2006.
- 7) Konrad A, Reiner MM, Thaller S, Tilp M. The time course of muscle-tendon properties and function responses of a five-minute static stretching exercise. *Eur J Sport Sci*. Oct; 19(9): 1195-1203, 2019.
- 8) 松原由未子, 粟井瞳, 木村護郎, 今野宏亮, 徳元仁美, 佐々木誠, 疲労に至る等尺性運動後の筋硬度回復に対する振動刺激の効果, *理学療法科学*, 19 (4):341-345, 2004
- 9) Márquez G, Aguado X, Alegre LM, Lago A, Acero RM, Fernández-del-Olmo M. The trampoline aftereffect: the motor and sensory modulations associated with jumping on an elastic surface. *Exp Brain Res*. Aug; 204(4): 575-84, 2010.
- 10) Mizuno T, Matsumoto M, Umemura Y. Viscoelasticity of the muscle-tendon unit is returned more rapidly than range of motion after stretching. *Scand J Med Sci Sports*. Feb; 23(1): 23-30, 2013.
- 11) 宮内駿, 福村直博, トランポリン跳躍後の垂直跳びにおける筋運動感覚残効の研究, *電子情報通信学会信学技報*, 116(343), 31-36, 2016.
- 12) Otsuji T, Abe M, Kinoshita H. After-effects of using a weighted bat on subsequent swing velocity and batters' perceptions of swing velocity and heaviness. *Percept Mot Skills*. Feb; 94(1): 119-26, 2002.
- 13) Reynolds RF, Bronstein AM. The broken escalator phenomenon. Aftereffect of walking onto a moving platform. *Exp Brain Res*. Aug; 151(3): 301-8, 2003.
- 14) Witney AG, Vetter P, Wolpert DM. The influence of previous experience on predictive motor control. *Neuroreport*. Mar 26; 12(4): 649-53, 2001.