



Title: Muscle Synergies in Single-Leg Hops: Neuromuscular Adaptations for Increased Hop Distance
(片脚ホップにおける筋シナジー：跳躍距離増大に伴う神経筋適応)

Authors: Hiroki Saito, Ayu Yamano, Nanae Suzuki, Kazuya Matsushita, Hikaru Yokoyama, Joachim Van Cant, Kimitaka Nakazawa
(斎藤寛樹(東京工科大学/ヒューマンムーブメントセンター) 山野 アユ(東京工科大学),
鈴木 菜々恵(東京工科大学), 松下 和哉(ヒューマンムーブメントセンター), 横山 光(東京農工大学),
ヨアヒム・ファン・カント(ルーヴエン・カトリック大学), 中澤 公孝(東京大学))

Journal: Journal of Applied Biomechanics (2025) DOI: 10.1123/jab.2024-0132

掲載年月: 2025年6月

研究概要: 本研究は、片脚ホップ (Single-Leg Hop: SLH) において、跳躍距離の違いが体幹および下肢の筋シナジー構造にどのような変化をもたらすのかを明らかにすることを目的とした。健康男性 10 名を対象に、最大跳躍距離の 30% (SLH30) および 100% (SLH100) での片脚ホップ課題を実施し、体幹および下肢 16 筋の表面筋電図 (EMG) を計測した。非負値行列因子分解 (NMF) を用いて筋シナジーを抽出し、比較解析を行った。その結果、SLH100 では SLH30 よりも筋シナジー数が有意に多く、跳躍距離の増大に伴い神経筋制御戦略がより複雑化することが示された。

研究背景: 片脚ホップは、スポーツ復帰 (Return to Sport) 判断において広く用いられる身体機能テストの一つであり、特に膝関節機能評価の指標として重要視されている。しかし、ホップ距離の増大がどのような神経筋制御の変化によって達成されているのかについては、十分に解明されていなかった。

近年、筋シナジー解析は、中枢神経系が複数の筋をどのように協調的に制御しているかを理解する手法として注目されている。跳躍距離の異なる片脚ホップ課題における筋シナジー構造を比較することで、距離増大を可能にする神経筋メカニズムを明らかにできると考えられる。本研究は、SLH30 と SLH100 という異なる要求レベルの課題を用いて、跳躍距離増大に伴う神経筋適応を定量的に検証することを目的とした。

研究成果: 本研究の結果、SLH100 における筋シナジー数は SLH30 よりも有意に多く ($P = 0.0078$, 効果量 = 1.28), 中央値は SLH30 で 4.0 (3.0–5.0), SLH100 で 5.0 (4.0–6.0) であった。このことから、最大距離での片脚ホップでは、より多様な筋協調パターンが動員されていることが示された。また、SLH30 と SLH100 の間には 4 つの共通筋シナジーが存在し、これは片脚ホップに共通する基盤的な神経筋制御戦略を反映していると考えられる。一方で、SLH100 に特異的な筋シナジーでは、腹筋群に加えて股関節および足関節の伸展筋群の関与が顕著であり、跳躍距離の増大には体幹および下肢近位・遠位筋群の協調的な動員が重要であることが示唆された。さらに、SLH100 に特異的な筋シナジーは膝関節周囲筋の関与が比較的少なく、ホップ距離の向上が必ずしも膝関節機能の回復を直接反映するものではない可能性が示された。

社会への影響: 本研究は、片脚ホップ距離の向上が、必ずしも膝関節機能の改善のみを意味しないことを神経筋レベルで示した点に意義がある。スポーツ復帰を目的としたトレーニングやリハビリテーションにおいては、股関節・足関節伸展筋群や体幹筋群を含めた協調的な運動制御を強化する介入が有効である可能性が示唆された。一方で、片脚ホップを膝関節機能評価指標として用いる際には、その解釈に慎重を要することが示された。

専門用語:

筋シナジー: 中枢神経系が運動制御を行う際に、複数の筋を一つの協調的なモジュールとしてまとめて動員するという概念。

NMF (非負値行列因子分解): 筋電図信号を筋の重み (W) と時間変化パターン (C) に分解し、筋シナジーを抽出する解析手法。

片脚ホップ (SLH): 一側下肢のみを用いて行う跳躍課題で、スポーツ復帰評価に用いられる身体機能テスト。