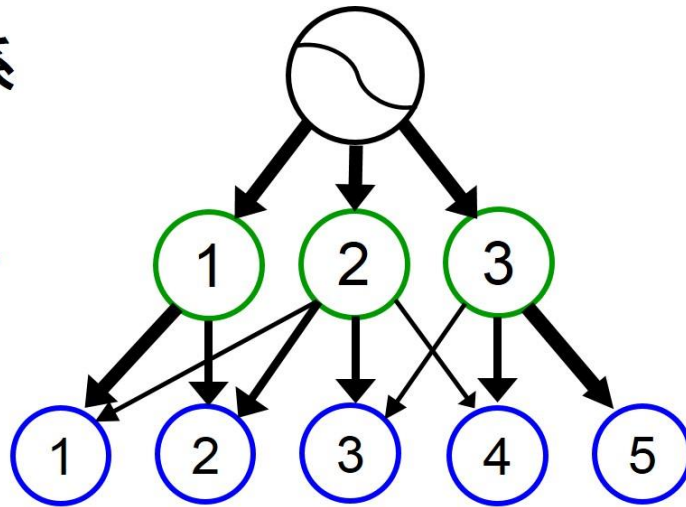


# 中枢神経系

## 筋シナジー

## 骨格筋



### 人間の神経回路はランニング時の運動環境に左右されない ～深層筋から筋活動を計測する手法を応用～

名古屋大学総合保健体育科学センターの 秋間 広 教授と同大学院生（富田彩，安藤良介）らの研究グループは、東京大学、中京大学との共同研究で、大腿部深層筋から筋活動を計測する手法を用いてランニング中の大腿部筋群の筋活動を記録し、筋活動をまとめてコントロールする神経回路がランニング時の運動環境に左右されていないことを明らかにしました。

人間の身体運動の動力源は骨格筋の収縮であり、身体運動は膨大な数の筋収縮の組み合わせで決定されます。運動制御の研究では、人間の持つ膨大な数の骨格筋の筋活動をまとめてコントロールする神経回路（以下、「筋シナジー」）の存在が提唱されてきました。筋シナジーは未だに概念ではありますが、人間の身体運動を司る神経回路として有力な概念であると認識されています。

本研究は、若齢男女 8 名が低速度から高速度までのランニング中において、大腿部筋群の皮膚上に貼った筋電図センサーから筋活動を計測しました。正の値を持つ行列を解析する手法である非負値行列因数分解を用いて、計測された大腿部筋群の筋活動のデータから筋シナジーを推定した結果、各速度でのランニング中における下肢 10 筋の筋活動は、約 4 つの筋シナジー（つまり 4 つのグループから構成される筋群）によってコントロールされていることがわかりました。さらに、異なる運動環境（平地ランニング条件 vs. 上り坂条件）で筋シナジーを比較した結果、それぞれの筋シナジーは非常に類似性が高いことが明らかになりました。

本研究の結果は、人間の基礎的な身体運動であるランニング時の筋活動をまとめてコントロールする神経回路は運動環境に左右されず一貫していることを示唆しています。さらに、本研究の成果は、スポーツ選手の技術向上や病気や外傷による身体的な障害からの回復を目的としたリハビリテーション手法の改善等に役立つことも期待されます。

本研究成果は、科学雑誌「Nature」の姉妹誌「Scientific Reports」（2018 年 4 月 13 日の電子版）に掲載されました。

## ポイント

- ランニング中の骨格筋より計測した筋活動から未知の神経回路の存在を予測する数学的な手法を用いて、人間の筋活動をコントロールする神経回路（筋シナジー）が運動環境の違いに応答して変化するのか検討しました。
- 約 4 つの筋シナジーがランニング時の下肢筋群 10 筋をまとめてコントロールしていることが明らかになりました。
- それぞれの筋シナジーは平地と上り坂の運動環境の違いに左右されず、非常に類似していることが明らかになりました。

## 背景

人間の身体運動の動力源は骨格筋の収縮であり、身体運動は膨大な数の筋収縮の組み合わせによって決定されます。身体運動中の骨格筋の活動レベルは、身体皮膚上に貼った筋電図センサーにより計測することが可能であり、同時に複数の筋から計測することで筋ごとの活動パターンを調べることができます。2009 年に、秋間研究室では世界に先駆けて大腿部の深い部分にある深層筋から筋活動を記録する手法を開発し、大腿部深層筋の特徴的な筋活動を明らかにしてきました。

しかし、運動制御の研究では、人間の持つ膨大な数の骨格筋の筋活動をまとめてコントロールする神経回路（以下、「筋シナジー<sup>(注1)</sup>」）の存在が提唱されてきました。筋シナジーは未だに概念ではありますが、人間の身体運動を司る中枢神経系のコントロール戦略の解決法として注目されています。つまり、中枢神経系が膨大な数の骨格筋を直接コントロールするよりも、いくつかの筋シナジーを介することで中枢神経系は骨格筋をより簡潔にコントロールしているという考えに基づいた仮説です（図 1）。先行研究では、歩行あるいは走行速度に対応して筋シナジーがコントロールされていることが示唆されてきましたが、運動環境（地面の傾斜など）に適応して制御されているか否かは明らかになっていませんでした。そこで、本研究では、身体運動中の筋シナジーが運動環境に柔軟に適応しているのかを調べました。

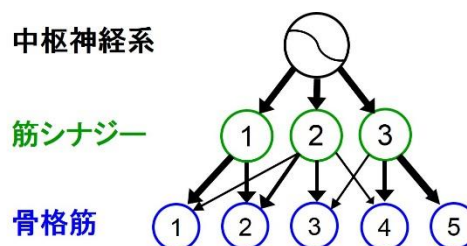


図1 筋シナジー仮説の骨格筋の制御モデル  
中枢神経系が各筋を直接制御するよりも  
いくつかの筋シナジーを制御して間接的に  
数多くの骨格筋を制御する

## 研究内容

### 【実験・解析】

実験には、健常な成人男女 8 名に参加してもらいました。医療現場で用いられる超音波断層装置によって、太ももの超音波画像を撮影し、身体の上層部にある筋組織の皮膚上に筋活動を計測する筋電図<sup>(注2)</sup>センサーを貼付しました。この手法は、名古屋大学総合保健体育科学センターの研究チームが世界に先駆けて開発した独自性の高い手法で

す。運動課題は、ベルトコンベアー上で運動を行う装置であるトレッドミルを使用したランニング運動でした。ランニング速度は2.5m/秒（遅いランニング）、3.3m/秒（快適なランニング）、4.1m/秒（早いランニング）であり、各速度でのランニングを平地および10%傾斜の上り坂（5.7°の傾斜）の2条件で行いました。ランニング中に計測した下肢10筋の筋活動に数学的処理を施した後、神経回路の存在を予測する数学的な手法（非負値行列因数分解）により筋シナジーを抽出しました。そして、筋シナジーを平地と上り坂の運動環境間で比較しました。運動環境間における筋シナジーの類似性指標として2つのベクトル成分の内積が0.8以上を示した場合、筋シナジーの類似性が高いと評価しました。

### 【結果】

ランニング中の下肢10筋の筋活動は、すべての参加者において3種類から5種類の筋シナジーで90%以上説明されました。つまり、本研究で計測した下肢10筋の筋活動は、平均で約4種類の共通されるパターンが存在することがわかりました（図2）。

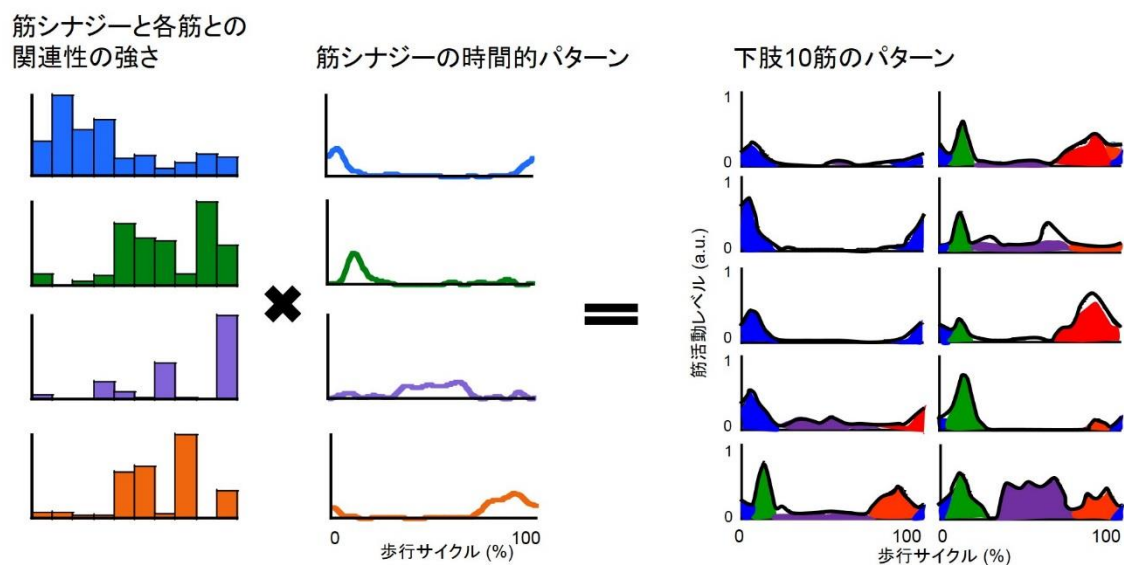


図2 4つの筋シナジーと下肢10筋の筋活動パターンを説明する典型例  
筋シナジーは各筋との関連性の強さとその時間的パターンの2要素で構成される

次に、各種類の筋シナジーを平地条件と上り坂条件で比較したところ、一部の筋シナジーにおいて運動環境間で差がみられました。しかし、それぞれの筋シナジーの類似性指標をみると、すべての筋シナジーには運動環境間で高い類似性が認められました ( $r > 0.80$ ) (図3)。なお、各種類の筋シナジーはそれぞれの速度条件間においても類似していました。

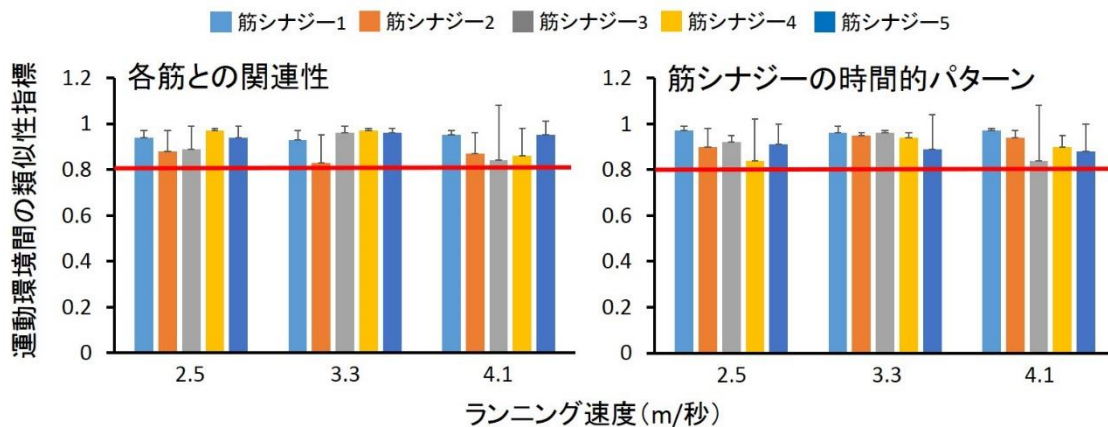


図3 運動環境間(平地 vs. 上り坂)の類似性  
赤線: 類似性が高いと評価される閾値

### 成果の意義

ランニング中の下肢 10 筋の筋活動の大部分は、約 4 種類の筋シナジーで説明されることが示され、さらに、それらの筋シナジーは異なる運動環境に左右されないことが示唆されました。これらの結果から、人間の神経回路はランニングの運動環境に対して「微修正」しながら筋活動をコントロールしている可能性を示しています。これらの研究成果は、人間のランニング動作の制御戦略を理解することに寄与しますが、おそらく、人間が行う多くの動作においても同様なことが言えるのではないかと予想しています。したがって、この知見は、スポーツ選手の技術向上や病気や外傷による身体的な障害をもつ患者が、健常な神経回路への回復に向けたリハビリテーションの経過過程の評価等に応用されていくことが期待されます。

### 【用語説明】

注 1) 筋シナジー：数多くの筋活動に見られる協調性を意味しています。端的にいえば、複数の筋の同時活動のことです。本研究では非負値行列因数分解 (Lee & Seung, 1999) を用いて抽出された 10 筋の活動パターンの構成要素を筋シナジーと定義しています。

注 2) 非負値行列因数分解：非負値（正の値）のみからなる行列を分解するという数学的な手法です。

注 3) 筋電図：骨格筋は運動神経からの電気信号を受けることで収縮します。骨格筋が収縮する際には筋線維の膜上に活動電位が生じ、筋電図はこれらの活動電位を記録して筋活動レベルを評価するものです。一般的には、骨格筋の皮膚上に置いた筋電図センサーから記録し、これを表面筋電図といいます。本研究では本研究グループが独自に開発した表面筋電図法 (Watanabe & Akima, 2009; Watanabe et al., 2009) を用いることで、表層部にある筋だけでなく深層筋からの筋活動計測をも可能にしています。

## 論文情報

雑誌名 : Scientific Reports (2018年4月13日付けの電子版)

論文名 : Muscle synergies are consistent across level and uphill treadmill running

著者 : Akira Saito<sup>1,2</sup>, Aya Tomita<sup>3,5</sup>, Ryosuke Ando<sup>2,4</sup>, Kohei Watanabe<sup>5</sup>, Hiroshi Akima<sup>3,4</sup>

1. Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo
2. Japan Society for the Promotion of Science
3. Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University
4. Research Center of Health, Physical Fitness & Sports, Nagoya University
5. School of International Liberal Studies, Chukyo University

DOI : [10.1038/s41598-018-24332-z](https://doi.org/10.1038/s41598-018-24332-z)