

# 筋内電氣的ノイズ刺激による協働筋の 力調節能力のメカニズム解明

京都大学大学院 神 崎 素 樹  
(共同研究者) 同 木 村 哲 也

## Mechanism of Steadiness During Force-Matching Tasks of Synergistic Muscles by Using Intramuscular Electrical Noise Stimulation

by

Motoki Kouzaki  
*Laboratory of Neurophysiology,  
Graduate School of Human and Environmental studies,  
Kyoto University*  
Tetsuya Kimura  
*Laboratory of Applied Physiology,  
Graduate School of Human and Environmental studies,  
Kyoto University*

### ABSTRACT

It is important for improvement of quality of life to enhance the regulatory ability of motor performance. This motor performance, often referred to as “steadiness” has been quantified by the standard deviation (SD) or coefficient of variation (CV) for produced force. Exercise training has been established to improve the steadiness, however, it is difficult for elderly adults to perform this type training. To make clear the mechanisms improving steadiness in synergistic muscles, the present study examined whether the steadiness of lower limbs is influenced by noise stimulation which bases on the stochastic resonance. The *experiment 1* consisted of knee extension force matching tasks at 2.5% and 5% of maximal voluntary contraction (MVC) for 60-s that followed: 1) intramuscular

electrical noise stimulation (ES) to the rectus femoris ( $ES_{RF}$ ), 2) ES to the vastus lateralis ( $ES_{VL}$ ), 3) ES to the vastus medialis ( $ES_{VM}$ ), and 4) ES to the all knee extensor muscles ( $ES_{KE}$ ). In *experiment 2*, the subjects requested to perform isometric plantar flexion at 5% of MVC with and without ES of tibialis nerve. The *experiment 2* also recorded motor unit action potential of soleus using fine-wire electrodes to examine motor units firing variability during steady contractions. In *experiment 1*, the SD of forces (anterior-posterior and medial-lateral directions) was significantly larger in  $ES_{VL}$  than other protocols. On the other hands, SD of plantar flexion force significantly decreased due to ES in *experiment 2*. Fluctuations (SD or CV) in motor unit firing rate attenuated due to ES irrespective of no difference of mean firing rate. This indicates that the enhanced steadiness by ES is caused by strategy for motor unit firing. In conclusion, 1) steadiness is influenced by noise ES, 2) the steadiness of multiple muscles changes due to noise ES applying single synergist, and 3) the improvement of steadiness by noise ES is attributed to the attenuated fluctuations in motor unit firing.

## 要 旨

発揮筋力を正確に調節する能力（力調節能力）は健康的な生活を送るために重要である。この機能を向上させるために運動トレーニングが奨励されているが、運動機能の劣った高齢者にとってこの手法には問題がある。そこで本研究は、ノイズ電気刺激により力調節能力が向上するか否かを検討し、協働筋の力調節能力向上のメカニズムを明らかにすることを目的とした。膝関節伸展の力調節課題（2.5%および5%MVCをそれぞれ60秒間）を以下の条件で行った：1) 刺激を与えない、2) ノイズ電気刺激を大腿直筋のみに与える、3) ノイズ電気刺激を外側広筋のみに与える、4) ノイズ電気刺激を内側広筋のみに与える、5) ノイズ電気刺激を膝伸展筋群に与える [実験1]。その結果、ノイズ刺激を外側広筋のみに与えた条件では、膝伸展の前後・内外方向の発揮張力の標準偏差が他の条件に比べ有意に高い値であった。足関節底屈の力調節課題（5%MVC）を脛骨神経へのノイズ電気刺激有りと無しの条件下で行った [実験2]。その結果、ノイズ電気刺激有り条件下での発揮張力の標準偏差は刺激無し条件に比して有意に小さかった。また、ノイズ電気刺激時の運動単位発火の変動（標準偏差および変動係数）はノイズ無しに比べ有意に小さかった。これら結果より、1) ノイズ電気刺激は力調節能力に影響を与えること、2) 複数の筋で構成されている筋群の力調節能力は、協働筋内の単一筋刺激で変化すること、3) ノイズ電気刺激による力調節能力の向上は、運動単位の発火頻度の安定性が起因していることが明らかになった。

験2]。その結果、ノイズ電気刺激有り条件下での発揮張力の標準偏差は刺激無し条件に比して有意に小さかった。また、ノイズ電気刺激時の運動単位発火の変動（標準偏差および変動係数）はノイズ無しに比べ有意に小さかった。これら結果より、1) ノイズ電気刺激は力調節能力に影響を与えること、2) 複数の筋で構成されている筋群の力調節能力は、協働筋内の単一筋刺激で変化すること、3) ノイズ電気刺激による力調節能力の向上は、運動単位の発火頻度の安定性が起因していることが明らかになった。

## 緒 言

筋力や持久力のような量的な能力のみならず、発揮筋力を正確に調節する能力（力調節能力）は健康的な生活を送るために重要な機能であり、この能力の低下は日常生活に対して悪影響を及ぼす。実際、高齢者において力調節能力の著しい低下が指摘されており<sup>5)</sup>、この能力の低下が直接的あるいは間接的に日常生活での転倒などを誘発し、高齢者のQOL低下の主因と考えられている。高齢

者の下肢筋群の力調節能力は立位バランス機能と強い相関関係があることが報告されている<sup>11)</sup>。そのため、日常生活動作（立位姿勢や歩行動作など）に直接関連する下肢筋群の力調節能力のメカニズム解明は、高齢者のQOL向上に深く関連する。しかしながら、下肢筋群を構成する大腿四頭筋や下腿三頭筋は複数の筋群で構成されている協働筋であるため、協働筋の個々の筋、さらには筋と神経の発火特性・回路を分離して検討する必要がある<sup>10)</sup>。すなわち、複数の筋により構成されている筋群を対象とした場合、力調節安定性のメカニズムはより複雑さを増す<sup>3,8)</sup>。これには、協働筋の活動の相互関連が起因していると考えられる<sup>9,12,14)</sup>。したがって、協働筋の力調節能力を理解するためには、協働筋個々を完全に分離し、生理学的根拠に基づき筋と神経活動を分けて検討することが必要である。ワイヤー電極法による電気刺激は筋内の単一運動単位の活動を局所的に誘発することが可能である。さらに、刺激の強度および刺激パターンを調節することにより、物理学の概念である確立共振<sup>2)</sup>を用いた筋内ノイズ刺激を作成することが可能である。したがって、この手法により、協働筋個々、さらには筋と神経を分離して協働筋の力調節能力を左右する因子を特定することが可能である。

そこで本研究は、ワイヤー電極法による電気刺激を用い、協働筋個々への筋内電氣的ノイズ刺激により協働筋の力調節能力のメカニズムを明らかにすることを目的とした。さらに本研究では、神経線維へのノイズ刺激による協働筋の運動単位の動員パターンを検討し、これの力調節能力に及ぼす影響を明らかにすることも目的とした。