

早稲田大学審査学位論文
博士（スポーツ科学）
概要書

トレーニングによるヒトヒラメ筋運動神経の
可塑性に及ぼす固有感覚入力の影響

Effect of proprioceptive input on training induced
plasticity of soleus motor neuron in humans

2015年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科
江川 賢一
EGAWA, Ken'ichi

研究指導教員： 中村 好男 教授

注1： 他機関に所属していても、必ず「早稲田大学大学院スポーツ科学研究科」と記入してください。

注2： 大学に登録している氏名と同一にしてください。

本研究はレジスタンストレーニングによる形態適応と独立して、ヒトヒラメ筋の神経適応が脊髄で生じていること、ならびに脛骨神経の神経筋電気刺激 (tibial nerve neuromuscular electrical stimulation; tnNMES) に伴う固有感覚入力に神経適応の要因であることを誘発筋電図により明らかにしたものである。

本論文は以下の 6 章で構成した。

第 1 章ではトレーニングに伴う神経可塑性に関する先行研究を要約した。レジスタンストレーニング開始初期には、筋の形態適応に先行して神経適応が生じる。この神経適応は脊髄上位からの皮質脊髄路および脊髄運動神経の興奮性が増加することにより、筋力が増加する。ヒラメ筋は姿勢保持、歩行、走運動などの移動動作や跳躍動作の遂行に重要であるが、トレーニングに伴う神経適応が生じる部位や、その要因は明らかではない。本研究は『レジスタンストレーニングによる形態適応と独立して、神経筋電気刺激に伴う固有感覚入力はヒトヒラメ筋運動神経の可塑性に影響を及ぼす』ことを仮説とした。

第 2 章では神経適応の部位を検索するために用いた誘発筋電図の方法を記述した。本研究の主要評価項目は脊髄興奮性および Ia シナプス前抑制を反映する指標である Hoffmann (H) 反射を、H 反射への影響に加えて脊髄へ下行する遠心性出力の指標である volitional (V) 波をそれぞれ用いた。神経適応が生じる要因を検討するために運動軸策および Ia 求心性線維への神経筋電気刺激 (neuromuscular electrical stimulation, NMES) を用いた。

第 3 章では『筋、腱および関節受容器からの固有感覚入力はヒトヒラメ筋運動神経の興奮性を抑制する』仮説を検証するため、生理的条件において固有感覚入力を実験的に操作可能な体位変換および重量荷重条件を用いた。仰臥位から直立位へ体位変換すると直立姿勢時保持中のヒラメ筋 H 反射は抑制された。身体長軸方向の重量荷重負荷に伴う固有感覚入力と比較して、この抑制効果は耳石への持続的前庭入力に加わることでより抑制された。

第 4 章では生理的条件において固有感覚入力を実験的に操作するため、重力に伴う固有感覚入力を減弱可能な頸下水浸条件を用いた。浮力により体重の 95%が免荷された直立時にはヒラメ筋 H 反射が促通し、この浮力と同じ錘を装着するとこの促通効果が消失したことから、身体長軸方向の固有感覚入力が抑制的に作用することが示唆された。

第 5 章では自重負荷によるスタンディング・ユニラテラル・カーフレイズトレーニング (RT) と脛骨神経への NMES を併用した RT (RT+NMES) の効果を比較するために、2 週間のランダム化比較試験 (randomized controlled trial, RCT) を実施した。RT 群と比較して RT+NMES 群では、非収縮時に H 反射は抑制され、最大随意等尺性収縮 (maximum voluntary isometric contraction, MVIC) 時に H 反射は促通されたが、V 波には影響がなかった。非収縮時には筋を随意的に弛緩する上で脊髄興奮性を抑制し、MVIC 時は最大努力を維持するために脊髄興奮性を促通したものと考えられ、機能的に合目的に適応が生じたものと推測された。V 波に変化がなかったことは、トレーニング開始 2 週間では脊髄へ下行する遠心性出力には適応が生じない可能性が示唆された。

第 6 章では体位変換および重量荷重 (第 3 章)、頸下水浸 (第 4 章) 条件による急性応答から「固有感覚入力がヒラメ筋運動神経を抑制的に調節している」こと、2 週間の実験による

慢性応答（第 5 章）から形態学的適応と独立して「一側性動的トレーニング動作に NMES を併用することで同側の固有感覚入力に合目的に脊髄興奮性を調節している」ことを明らかにした。この知見の生理学的意義、発現機序について考察し、NMES による足底屈筋群の筋力増強効果が RT と比較して相対的に小さいこと、NMES 併用効果の脊髄適応以外の要因が明らかにされていないこと、NMES および RT のパラメータを体系的に検討していないことが今後の課題として残された。

本論文は形態学的適応と独立して、レジスタンストレーニング開始初期にヒトヒラメ筋の神経適応が脊髄で生じていること、ならびにこの神経適応が NMES に伴う固有感覚入力により合目的に調節されることをヒトにおいて初めて観察し、『トレーニングに伴う固有感覚入力はヒトヒラメ筋運動神経の可塑性に影響を及ぼす』仮説を支持する根拠となる結果を得た。その要因の少なくとも一部には NMES に伴う固有感覚入力が脊髄下の反射経路および脊髄上位経路を介して収縮・弛緩動作に合目的に影響を及ぼす可能性が示唆された。これらの知見から、NMES を併用した動的トレーニングは固有感覚入力を増強し、合目的な脊髄適応を促進することが期待される。

既公表論文

[第 3 章]

1. **Egawa, K.**, Y. Kitabatake, et al. (2006). Weight bearing-induced modulation of the soleus H-reflex in humans: effect of static tilt and additional weight load during upright standing. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 55(Suppl): S29-S32 頁.

[第 4 章]

2. **Egawa, K.**, Y. Oida, et al. (2000). Postural modulation of soleus H-reflex under simulated hypogravity by head-out water immersion in humans. *Environ Med* 44(2): 117-120.
3. **Egawa, K.**, Y. Oida, et al. (2003). Effect of weight bearing on the soleus H-reflex during upright standing under the head-out water immersion condition in humans. *Environmental Medicine* 47(2): 81-84.
4. **江川賢一**, 種田行男, et al. (2003). 直立姿勢保持中の段階的頸下水浸はヒトヒラメ筋 H 反射を促通する. *体力科学* 52(5): 599-608.

[第 5 章]

5. **江川賢一**, 森下元賀, et al. (2013). レジスタンストレーニング時の神経筋電気刺激が脊髄反射に及ぼす短期的効果. *体力科学* 62 卷(2 号): 151-158 頁.