

2015年1月5日

## 博士学位申請論文審査報告書

大学名	早稲田大学	
研究科名	スポーツ科学研究科	
申請者氏名	江川 賢一	
学位の種類	博士（スポーツ科学）	
論文題目	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 <b>Effect of proprioceptive input on training induced plasticity of soleus motor neuron in humans</b>	
論文審査員	主査 早稲田大学教授	中村 好男 教育学博士（東京大学）
	副査 早稲田大学教授	川上 泰雄 博士（教育学）（東京大学）
	副査 早稲田大学教授	荒尾 孝 博士（医学）（順天堂大学）

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とされている。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ものである。ヒラメ筋は直立姿勢の保持や歩行、走運動や跳躍動作など移動動作に重要であるが、ヒラメ筋運動神経の適応が生じる部位や、その要因は明らかではない。そのような背景の下で、本研究では『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』という仮説を検証しようとした。特に本論文で焦点をあてたのは、ヒトヒラメ筋の形態適応に先行する神経適応が脊髄で生じるのかあるいは脊髄上位で生じるのかを明らかにすることと、形態適応と独立して神経適応が生じるならば、筋、腱および関節受容器からの固有感覚入力が神経適応の関連要因であるかを明らかにすることであった。

本論文は、第1章から第6章から構成されている。

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総覧し、『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』という仮説を導出した。

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。本論文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脛骨神経への神経筋電

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ヒトヒラメ筋運動神経の興奮性を抑制する』という仮説を検証した。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。この抑制効果は耳石への持続的前庭入力加わることで、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より大きく抑制された。

第 4 章では前庭入力と独立し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 反射が促通した。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は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。NMES 併用によりトレーニング前後で H 反射は有意に変化したが、V 波には変化を認めなかった。また、非収縮時の H 反射は NMES 併用により抑制され、最大随意等尺性収縮 (maximum voluntary isometric contraction, MVIC) 時の H 反射は促通することを明らかにした。H 反射の応答は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の推測された。一方で V 波の応答は NMES 併用ではトレーニング開始 2 週間での筋力増加に脊髄上位の関与が先行研究で示唆されるよりも相対的に小さい可能性が示唆するものである。

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「固有感覚入力ヒラメ筋運動神経の興奮性を抑制する」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合目的に脊髄興奮性を調節している」ことの生理学的意義、発現機序について考察し、固有感覚入力ヒトヒラメ筋運動神経の可塑性の要因であることを結論づけた。本研究の限界として、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を今後の課題として提示した。

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 NMES に伴う固有感覚入力神経可塑性に合目的に影響することを明らかにしたものであり、限られた証拠から考察されてきたレジスタンストレーニングによる神経適応に関する研究を大きく前進させるものである。本論文に含まれる研究の一部は、末尾記載のとおり学術誌上で刊行されており、当該分野において、すでに一定の評価を受けているとみなすことができる。この点において、スポーツ

科学の発展に大いに寄与するものであると考えられる。

上記のような評価を得て、本審査委員会は、江川 賢一氏の学位申請論文が博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

【関連論文】

1. **Egawa, K.**, Kitabatake, Y., Oida, Y. (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.
2. **Egawa, K.**, Y. Oida, Kitabatake, Y., Maie, H., Mano, T., Iwase, S., Miwa, C. (2000). Postural modulation of soleus H-reflex under simulated hypogravity by head-out water immersion in humans. *Environmental Medicine* 44(2): 117-120.
3. **Egawa, K.**, Y. Oida, Kitabatake, Y., Mano, T., Iwase, S., Kamiya, A., Michikami, D. (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, 北畠義典, 真家英俊, 岩瀬敏, 道上大策 (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.
5. 江川賢一, 森下元賀, 塩澤伸一郎, 帯刀隆之, 原田長, 北畠義典, 種田行男, 荒尾孝 (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(2): 151-158.

以上