

2011年 7月 1日

## 博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学  
研究科名 人間科学研究科  
申請者氏名 小山 裕史  
学位の種類 博士 (人間科学)  
論文題目 **Beginning Movement Load Training-Induced Neuromuscular Adaptations in Humans**  
初動負荷トレーニングによる神経筋の協応能の変化とその解析

論文審査員 主査 早稲田大学教授 鈴木秀次 医学博士 (千葉大学)  
副査 早稲田大学教授 今泉和彦 医学博士 (大阪大学)  
副査 早稲田大学元教授 木村一郎 理学博士 (東京大学)

ヒトの神経筋系の協応動作は、日常行っている身体運動の量と種類に特異的に変化・適応する (Enoka 1997)。一般に、神経筋系の協応動作の適応は力の獲得を含め身体トレーニング中に関与する筋の状況や部位に特異的に起こり、それぞれの身体動作の特徴が明瞭に現れる。身体トレーニングや神経筋系の協応動作の特異性に影響を与える要素としては、運動時に使用される筋群、筋収縮の活動様式とその速さ、筋の可動範囲および運動時の姿勢が重要な役割を担っている。したがって、ある特定の身体トレーニングによって獲得された筋が発揮される力は、それと違う運動時には同名筋であっても筋の機能が十分に発揮されるとは限らない。そのため、神経筋系をトレーニングするには運動の特異性を考慮した身体トレーニングが極めて重要であるとされている。しかし、従来の筋力を発揮させる身体トレーニングの身体動作は通常に実施されている身体運動の動作とは大きな差異のあることが知られている。

このような背景を下に、小山氏はヒトの神経筋系の協応動作をより改善するためのトレーニング理論の構築とそれを可能にする装置を併せて開発し、初動負荷トレーニング (Beginning movement load training) の実践について体系化を試みた (1994)。

初動負荷トレーニングでは、最大筋力の約30%の負荷を用いて筋の弛緩—伸張—短縮を律動的に繰り返し、動作の開始では筋が弛緩した状態で始まり、次に筋への負荷により伸張される点に特徴がある。筋の伸張過程では筋への負荷が漸増し、運動が繰り返さ

れると周期毎に筋が伸張されるため、その筋は伸張反射によって収縮する。その運動の直後には筋への負荷を減らして弛緩するよう工夫されている。このような初動負荷トレーニングのマシンは現在までに20種類小山氏によって発案・開発されている。

一方、初動負荷トレーニング動作には負荷の漸増－漸減に加え、“かわし動作”が関与していることが知られている。このかわし動作は、多軸での回旋、近位筋から遠位筋への活動の流れ、短縮性収縮活動前の弛緩した主動筋の伸張と最少限の共縮が併存している点に特徴がある。この動作のトレーニングを特徴づけるためのマシンも小山氏によって開発されている。この装置は、カムを搭載して漸増－漸減を発揮させると同時にかわし動作を遂行することが可能となっている。この装置を用いた身体トレーニングでは、主動筋の弛緩－伸張－短縮が繰り返され、近位筋から遠位筋へと身体動作が円滑に伝わると同時に、主動筋と拮抗筋との相反的な活動によって共縮が防止できる（小山氏ら、2005）。

以上のような背景を下にして、本博士論文では初動負荷トレーニングマシンを用いた際の身体動作特性を系統的に明らかにするため、単純なラットプルダウン動作の特徴を明らかにするとともに、マシンの自由度を徐々に増やしたときの身体動作特性をビデオカメラと筋電図学的に分析したデータを比較・検討した。

実験では、動きの自由度を三種類に変えた初動負荷トレーニング装置を製作し、それぞれの装置でラットプルダウン動作を行なったときのキネマティクス、筋電図活動およびそのタイミングをしらべた。被験者は健康で初動負荷トレーニングに習熟している男性7名（年齢：29.4 ± 5.6才）とした。運動負荷は三種類の装置とも最大筋力の30%の条件下で行った。トレーニング装置は、タイプ1（前額面の動作のみを行なう装置）、タイプ2（前腕の回外－回内が付加した装置）、タイプ3（前腕の回外－回内と肩の水平伸展－屈曲が付加した装置）の三種類とした。全ての運動は弛緩－伸張－短縮の一連の筋活動を伴う初動負荷トレーニング動作とした。その結果、タイプ3の装置を用いたトレーニングでは、手首の鉛直方向の変位が最も大きく、肩の外転－内転方向の変位が最も大きかった。一方、肘関節については屈曲－伸展の変位が最も小さかった。下制中の肩の鉛直速度の最大値のタイミングは、肘や手首のタイミングより明らかに先行した。この装置を用いた身体トレーニング時の筋放電は、近位に位置する前鋸筋から順に後部三角筋、広背筋、そして遠位に位置する上腕三頭筋へと移動した。さらに、下制中の上腕二頭筋と上腕三頭筋との活動が逆転した。

以上の結果は、身体運動の自由度を大きくした装置を用いて初動負荷トレーニング動作を行うと、各種の運動競技の場面あるいは日常の場面に見られる無拘束な身体運動の

活動様式により近い形が再現されることを示している。これらの結果より、実際のヒトの動作形態に近い関節の可動域や動きのリズム、及び協調性を実現した初動負荷トレーニングは身体的・精神的に質を高める Well-being の獲得に有効であると判断でき、可塑的变化を促すことを目的とするリハビリテーション、あるいは身体運動の技術の向上を目的としたトレーニングにおいて重要な示唆を与えるものと期待される。また、本研究の成果は、これまでの身体運動にはみられなかった筋力トレーニングの特異性を考慮した動き作りのトレーニングを発展させる上でバイオメカニクス、神経筋制御および体力科学等の観点からみて重要な知見であり、高く評価できる。

本論文（一部を含む）が掲載された主な学術論文は以下のとおりである。

1. **Koyama Y, Kobayashi H, Suzuki S, Enoka RM (2010) Enhancing the weight training experience : a comparison of limb kinematics and EMG activity on three machines. *European Journal of Applied Physiology*, 109 (5): 789 - 801.**

以上より、本論文が優れた学術的価値を有するものであると判断し、博士（人間科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以上