

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500561

研究課題名(和文) 初動負荷トレーニングの動作特性と効果

研究課題名(英文) The functional characteristics and the effects of beginning movement load training

研究代表者

鈴木 秀次(SUZUKI SHUJI)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号：40137964

研究成果の概要(和文)：我が国から生まれた初動負荷トレーニング動作時のキネマティクスと筋活動をしらべ、検討した。結果、自由度を増やしたラットマシンで肩関節の可動域が拡大した。筋活動は弛緩相が顕著に現れ、体幹の近位から遠位へと順次活動の位相がずれ、共縮を回避する様相を呈した。また、初動負荷トレーニングは高齢者の運動機能改善や児童の体力向上にも効果的であることが実証され、動きづくりのトレーニングとして有効であることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The aim of the study was to elucidate functional characteristics and the effects of Beginning movement load (BML) training developed by Y. Koyama, Japan. We found that BML training machine with multiple degrees of freedom could enhance the association between training actions and functional activities, and BML training improved the performance of functional tasks in older adults and children.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 2,200,000 | 660,000 | 2,860,000 |
| 2009年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2010年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学(スポーツ科学)

キーワード：初動負荷トレーニング、動作特性、筋活動、運動制御、バイオメカニクス、トレーニング効果、高齢者、児童

1. 研究開始当初の背景

(1) 初動負荷(Beginning movement load: BML)トレーニングは1994年に小山裕史が創案したBML理論に基づく我が国発の動きづくりのためのトレーニング法である。その根幹となる動作形態は「反射の起こるポジションへの身体変化及びそれに伴う重心位置変化を利用し、主動筋の『弛緩-伸張-短縮』の

動作を同時に促進させ、主動筋と拮抗筋との共縮を防ぎながら行う運動」と定義されており、筋力強化を目的とした従来の筋力トレーニングとは一線を画している。本トレーニングは専用に設計されたBMLトレーニングマシンを用いて行う。

ところで、これまでの文献によるとヒトの神経筋系は日常的に行っている身体運動の

量と種類によって変化、適応することが明らかとなっている。すなわち、神経筋系の適応は力の獲得を含め、トレーニング中に使用された状況に特異的となり、それぞれの動作が持っている特徴が現れる。

トレーニング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、筋収縮の速さ、筋の可動範囲および運動時の姿勢が挙げられる。その結果、ある特定のトレーニングによって獲得された筋力は、それと違う運動時には同じ筋であっても十分に機能が発揮されるとは限らない。よって、運動機能の向上のためのトレーニングはこの特異性を考慮することが極めて重要となる。ところが、従来の筋力トレーニングは一般的に筋肉を鍛えることを目的としており、動作の特異性を考慮したトレーニングにはなっておらず、その動作形態はスポーツ活動における身体運動とは大きく隔たりがある。

このような背景を基に、共著者の小山は神経筋系の協応能を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BMLトレーニングマシンを創案・開発してきた。そして2003年、小山はカムを搭載によって負荷の漸増と漸減をより顕著に現すと同時に、自由度を高めたマシンを開発した。本マシンでの動作は、負荷は軽めで、動作の開始期、筋は弛緩した状態で始まる。低負荷によって、筋はゆっくり伸張され、その伸張によって筋は緊張し反射を誘発して短縮が起こり、やがて弛緩し、一周期が終わる。すなわち、筋は弛緩-伸張-短縮を繰り返すリズムが生まれる。小山は、これらの動作形態は筋活動に先立って弛緩相が起こること。共縮（同時収縮＝硬くなる）が起こらなくなり、筋の活動が、体幹の近位から遠位へと流れるように現れ、しなやかな動作が生まれるとし、これらの筋の活動様式によって、BMLトレーニングは動作改善、故障改善、麻痺改善が可能となると報告した。しかし、未だにその動作の特徴を科学的に検証した例がなく、実験、検討した。（2008年度）

(2) ヒトは高齢になると運動機能が著しく低下する。この原因は、サルコペニア（筋肉組織の量と筋線維の数や大きさの減少）による形態的な変化と、神経筋機能の適応が関係している。過去の文献によると、筋力トレーニングによる筋のサイズの増加は筋力や力調節能力などの向上に対してそれほど関連性が無いといった報告がある。一方、筋肥大の効果があまり見込めない軽負荷によるトレーニングであっても高齢者の運動機能向上に十分効果があるといった報告がある。さらに、筋力トレーニングによって獲得した筋力増加が、必ずしも機能改善に繋がることも

限らないといった報告（例えば、数週間の筋力トレーニングは、高齢者の筋力やトレーニング動作と同じ非等尺性筋収縮時の力調節能力は有意に向上させたが、等尺性筋収縮時の制御や日常動作能力の改善には効果が得られなかった）がある。一方、太極拳や細かな指先の動きを伴うような軽負荷での多様な協調動作を必要とする運動は、高齢者の等尺性筋収縮時の力調節能力や手先の巧緻性の向上などの運動機能を改善することが明らかとなっている。

これらのことから、我々は体幹を中心とした動作形態で行えるBMLトレーニングが高齢者の広範な神経筋機能ならびに日常動作能力の改善に有効であると考え、実験し、検討した。（2009年度）

(3) 子供たちの運動離れや体力低下が問題となっている昨今において、子供たちの体力・運動機能向上を計ることは重要な課題である。実際に、文部科学省中央教育審議会によると、学齢児童期（満6～12歳）の運動機会の減少が指摘されている。そのため、これまでに筋力トレーニングをはじめ、子供たちの体力向上に対する様々な介入による効果の検証がなされてきた。

しかし、過度の負荷や筋力強化は発達段階の子供たちにとって怪我や障害の危険性を伴う。また、習慣的な運動は、無理なく日常的に行えることが重要である。

我々はこれまでの研究によって、BMLトレーニングが高齢者の運動機能や日常動作の改善に有効であることを明らかにした。軽負荷でリズムカルに行うBMLトレーニングは顕著な筋力の向上は見込めないものの、身体にかかる負担は少なく、また、子供たちの体力、特に関節間の高い協調性を必要とするような全身運動のパフォーマンス向上には非常に有効であると考えた。よって最終年度は、動きづくりを目的としたBMLトレーニングが子供たちの体力・運動機能向上にどのような効果をもたらすかを検討した。（2010年度）

2. 研究の目的

(1) BMLトレーニングマシンを用いたときの動作特性をバイオメカニクスと運動制御の観点から系統的に明らかにするため、ラットプルダウンマシン動作中の自由度を3段階に増やしたときのキネマティクスと筋活動を比較検討することを目的とした。（2008年度）

(2) BMLトレーニングが高齢者の日常動作能力改善に有効であるか、そしてその改善に対してどういった神経筋機能の適応が寄与しているのかを検討することを目的とした。

(2009年度)

(3) 最終年度はBMLトレーニングが学齢児童の体力・運動能力にどのような影響を与えるかを検討することを目的とした。(2010年度)

3. 研究の方法

(1) 被験者は、BMLトレーニングに精通している男性7名(年齢: 29.4 ± 5.6 歳)とした。測定は自由度の異なる3タイプのラットプルダウンマシン動作のキネマティクスと筋活動とした。マシンのタイプは、Type-1: 従来型のラットプルダウンマシン、Type-2: ハンドルに回転運動を加えたマシン、Type-3: さらに鉛直軸回りの回転運動をもう1つ加えたマシン、とした。自由度が変わることによってType-2では肩関節の外転-内転運動、肘関節の伸展-屈曲運動に加えて前腕の回外-回内運動が、Type-3ではさらに肩関節の水平屈曲-伸展運動を加えたことでかわし動作が可能となった。試技は、各マシン15回ずつ(30% 1-RM、平均 20.7 ± 1.9 kg)行ってもらい、その5サイクル分を分析対象とした。いずれのマシン動作も「弛緩-伸張-短縮」サイクルで行った。キネマティクスは、2台のデジタルビデオカメラ(60Hz)で撮影し、反射球を右上肢、体幹部(4点)、グリップ部(2点)に貼付した。筋活動は、表面電極を右上肢、体幹部計5ヶ所、すなわち、上腕二頭筋短頭、上腕三頭筋外側頭、広背筋、三角筋後部、前鋸筋に貼付し、2kHzで記録(band-pass filter: 15-500 Hz)、解析した。(2008年度)

(2) 被験者は普段、筋力トレーニングなどの高強度の運動を行っていない健康な高齢者24名(60-78歳、平均年齢 67.5 ± 5.23 歳)を対象とした。被験者はBMLトレーニング群(17名)とコントロール群(7名)に分かれ、トレーニング群は週3回のペースで計8週間、BMLトレーニングを行なった。トレーニング種目は上半身4種目(ラットプルダウン、プルオーバー、ディップス、チェストスプレッド)、下半身3種目(レッグプレス、インナーサイ、アウター)の計7種目とし、重量設定は30% 1-RMとして15回を5~7セット行ってもらった。測定はトレーニング開始前(Pre)、トレーニング開始4週間経過時(Mid)、トレーニング終了直後(Post)の計3回とし、肘関節屈筋群ならびに膝関節伸展群の最大随意筋力(MVC)、そして等尺性筋収縮時における最大下での力(10%、30%、65% MVC)調節テストを行った。また、筋活動は上腕二頭筋、腕橈骨筋、上腕三頭筋、そして大腿直筋、内側広筋、外側広筋、大腿二頭筋から記録した(サンプリング周波数: 2 kHz、

band-pass filter: 20-500 Hz)。さらに日常動作能力の評価として、階段昇降、イス立ち上がり動作、そして閉眼片脚立ち時間を行った。力調節能力は変動係数(CV: $SD / \text{mean force} \times 100$)を用いて定量化した。また、高速フーリエ変換(FFT)を用いて試技中のフォース波形の周波数解析を行った。日常動作能力は各試技の課題遂行時間を評価した。(2009年度)

(3) 被験者は心身共に健康な学齢児童(10~12歳)23名とした。被験者はBMLトレーニング群15名、コントロール群(8名)に分かれ、トレーニング群はBMLトレーニングを週3回のペースで3ヶ月間行った。トレーニングは12種類のBMLトレーニングマシンを用いた。最初の4週間はディップス、チェストスプレッド、ニューハイプリーの上半身3種目、アウター、レッグプレス、インナーサイの下半身3種目を行い、5週目からはアイアンクロス、プルオーバー(上半身)、バックスイング、インナーサイツイスティング(下半身)を追加し、さらに9週目以降は片足レッグプレス、内・外腹斜筋動的ストレッチを加えた。各種目30% 1-RMの重量を用いて、15回 \times 5~7セット行った。1回のトレーニング時間は約1時間だった。

体力・運動機能評価には文部科学省の『新体力テスト』から握力、上体起こし、長座体前屈、反復横跳び、立ち幅跳びを抜粋し、さらに股関節可動域(屈曲、伸展、内転、外転)、伏臥上体反らし、肺活量を加えて行った。さらに、全身運動機能の評価として10メートル走、30メートル走、テニスボール投げ、そして垂直跳びを実施した。測定は、4週ごとに行い、トレーニング開始前(Pre)、開始1か月後(Mid 1)、2か月後(Mid 2)、終了後(Post)とした。(2010年度)

4. 研究成果

(1) 3つのマシン動作(ラットプルダウン)のキネマティクスを比較したところ、ハンドルの回転運動を加えたType-2とType-3では前腕の回外-回内可動域が増加した($P < 0.05$)。また、さらに自由度を加えたType-3マシンは手首の左右、そして鉛直方向変位が他の2つのマシンと比べて有意に増加した($P < 0.05$)。このようにマシンの自由度が拡大したType-3は、肘関節最大屈曲角度の減少、肩関節最大外転角度の増大が見られ(図1)、その結果、体幹部と上肢を連結している肩関節の最大内転角加速度が増大することが明らかとなった。これらの特徴を有したType-3は筋活動にも大きな違いをもたらした。まず、前腕の回旋動作が加わったことで、Type-1と比べ下制中の

上腕二頭筋の活動が弱まり、上腕三頭筋の活動が有意に増加した($P < 0.05$)。さらに、近位に位置する前鋸筋から順に、後部三角筋、広背筋、そして上腕三頭筋へと筋活動の位相が遠位へとずれる現象が観察された(図2)。

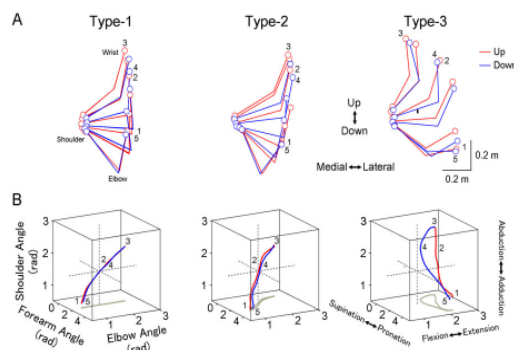


図1. 各マシンのキネマティクス

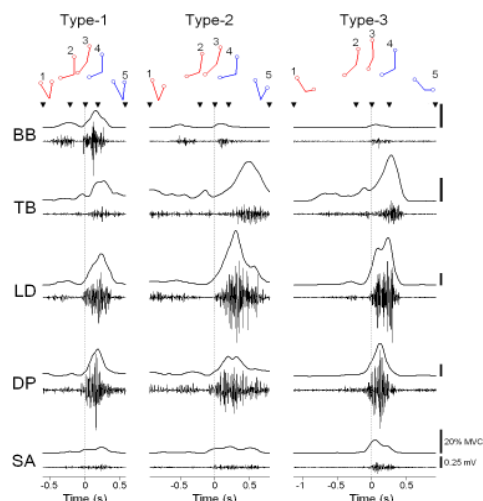


図2. 各マシンの筋活動

筋活動の位相がずれる現象は投球動作や打撃動作、あるいはキック動作といった末端部を加速させる運動形態においても確認されており、かわし動作を含めたBMLトレーニングマシンは、日常動作に見られるような、体幹部を中心とした神経筋システムの高い協調性を含んだトレーニング動作が可能であることが明らかとなった。よって、従来のトレーニングにはなかった動きづくりのトレーニングとしてこれまで現場で報告されていたことを裏付ける重要な知見を得た。(2008年度)

(2) 高齢者を対象に8週間のBMLトレーニングを実施したところ、肘関節屈筋群のMVCは有意な増加を示さなかったが(9.8%)、トレーニング群の膝関節伸筋群のMVCは有意に増

加した(31.6%)。等尺性筋収縮による力発揮時の変動係数(CV)は、各強度(10%、30%、65% MVC)において肘関節屈曲動作、膝関節伸展動作それぞれ有意に減少(25%~35%)した。また、FFTを用いて周波数解析したところ、10%、30% MVCにおいて0-4 Hz、8-12 Hz、12-20 Hzと各帯域のパワーが有意に減少した。一方、筋活動については65% MVCでの肘関節屈曲動作時の上腕三頭筋のみ、Postで有意に増大したものの、その他の筋活動に有意な変化はなく、トレーニングによる特定の筋機能の適応によって力発揮の安定性が高まったということではないことが示唆された。

日常動作能力の評価のために、4つの運動課題の遂行時間をトレーニング前後で評価した。その結果、トレーニング群は階段昇行($P < 0.05$)、降行($P < 0.05$)、イス立ち上がり動作($P < 0.01$)、そして閉眼片脚立ち時間($P < 0.05$)のいずれも改善した。また、筋力や力調節能力といったいくつかの神経筋機能の変化が、イス立ち上がり動作を除く、3つの動作遂行時間の変化に対して関連性を示した。

以上のことから、BMLトレーニングは高齢者の運動機能改善に有効であることが明らかとなった。また、本トレーニングが、従来の筋力トレーニングのように局所的な筋力の強化や特異的な効果をもたらすというよりは、協調性の向上を含めた、高齢者の動作改善に貢献する神経筋系の適応をもたらすことが示され、動きづくりのトレーニングとしての効果を実証する知見となった。

(2009年度)

(3) 本研究では学齢児童(10~12歳)を対象に12週間のBMLトレーニングを行った。その結果、肺活量は 2.11 ± 0.49 l(Pre)から 2.38 ± 0.39 l(Post)へと増加した($P < 0.01$)。筋力や筋持久力の評価である上体起こしは 20 ± 4.04 回から 23 ± 4.34 回($P < 0.01$)へと増加したが、同様に筋力の評価である握力は左右共に有意な変化を示さなかった。次に柔軟性の評価である長座体前屈は有意な変化が見られたものの(Pre = 7.22 ± 7.60 cm, Post = 12.6 ± 4.89 cm, $P < 0.01$)、伏臥上体反らしはほとんど変化が見られなかった。また、股関節可動域に関しても屈曲可動域(右: Pre = $69.0 \pm 12.40^\circ$, Post = $79.6 \pm 10.76^\circ$, $P < 0.01$; 左: Pre = $69.1 \pm 10.05^\circ$, Post = $79 \pm 12.36^\circ$, $P < 0.01$)のみに有意な増大が見られた。

敏捷性の評価である反復横跳びは 58.1 ± 6.94 回から 61.1 ± 4.51 回へとPreからPostにかけて有意に増加した($P < 0.01$)。同様に全身を使った跳躍運動である垂直跳び(Pre = 29.6 ± 5.20 cm, Post = 35.6 ± 4.71 cm, $P < 0.01$)、立幅跳び(Pre = 1.56 ± 0.15 m, Post

= 1.68±0.15 m, P < 0.05) も有意に向上した。また、走動作と投動作に関しても 10 m 走 (Pre = 2.57±0.32 s, Post = 2.09±0.10 s, P < 0.01)、30 m 走 (Pre = 6.07±0.61 s, Post = 5.39±0.33 s, P < 0.01)、そしてテニスボール投げ (Pre = 28.9±9.13 m, Post = 31.1±9.17 m, P < 0.05) と全てにおいて有意に向上した。コントロール群は全種目において有意な変化は見られなかった。

以上のことから、筋力や柔軟性の向上は限定的であったものの、BMLトレーニングは児童の体力・運動能力に効果的であることが明らかとなった。特に、テニスボール投げや立ち幅跳びといった全身運動の能力が向上したことは、高齢者に対して行ったトレーニング効果と同様、BMLトレーニングが動きづくりに適したエクササイズであることが実証され、神経系の発達の著しい学齢児童に対し有効な手段であることが示唆された。また、成長期にある小学生にとって比較的軽い負荷を用いてリズムカルに行う本トレーニングは身体の発育においても適しているものといえる。(2010年度)

3年間の研究成果を総括すると、BMLトレーニングはヒトの動作の特異性やその原理に準じた動きづくりに貢献する要素をもち、児童生徒から高齢者までの幅広い年齢層の人々のスポーツ活動および日常生活での動作改善に有効であることが明らかとなった。我が国発の動きづくりのトレーニングとして注目されているBMLトレーニングの動作特性、及びその効果について科学的に実証できたことは、今後本トレーニングの普及活動を行なう上で大変意義深い。単に筋力強化のために鍛えるということではなく、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BML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した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① Koyama Yasushi, Kobayashi Hirofumi, Suzuki Shuji, Enoka Roger: Enhancing the weight training experience: a comparison of limb kinematics and EMG activity on three machines. *European Journal of Applied Physiology*, 査読有 109(5): 789-801 (2010)

〔学会発表〕(計6件)

- ① Kobayashi Hirofumi, Koyama Yasushi, Suzuki Shuji: Beginning movement load training improves steadiness of older adults during submaximal isometric

contractions. 18th Congress of the International Society of Electromyography and Kinesiology,

June16-19, 2010, Aalborg, Denmark

- ② 荒川慎也, 小林裕央, 小山裕史, 鈴木秀次: 初動負荷トレーニングが児童の体力・運動機能に与える影響, 文部科学省学術フロンティア研究プロジェクト「ライフステージに応じた健康増進と多様性保持」研究発表会, 2010年1月6-7日, 早稲田大学, *人間科学研究* 23(1・補遺): 143 (2010)
- ③ 小林裕央, 小山裕史, Roger M Enoka, 鈴木秀次: 初動負荷トレーニングが高齢者の運動機能に与える影響, 文部科学省学術フロンティア研究プロジェクト「ライフステージに応じた健康増進と多様性保持」研究発表会, 2009年1月6-7日, 早稲田大学, *人間科学研究* 22(1): 52(2009)
- ④ Koyama Yasushi, Kobayashi Hirofumi, Suzuki Shuji, Enoka M Roger: The spatial and temporal relations between EMG activity and joint displacement during the lat pull-down exercise. 17th Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, June18-21, 2008, Niagara, Canada (Proceedings MP03.6, 2008)
- ⑤ 小山裕史, 小林裕央, Roger M Enoka, 鈴木秀次: 初動負荷トレーニング理論と運動機能改善第2報, *人間科学研究*, 21(補遺): 150 (2008)、早稲田大学
- ⑥ 小林裕央, 小山裕史, 楊雅婷, Roger M Enoka, 鈴木秀次: 初動負荷トレーニング理論と運動機能改善第3報—中高年者に対する運動機能改善—, *人間科学研究*, 21(補遺): 151 (2008)、早稲田大学

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.f.waseda.jp/shujiwhs/index-j.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 秀次 (SUZUKI SHUJI)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号: 40137964