Hybrid 訓練法による大腿四頭筋への筋力増強効果

久留米大学リハビリテーションセンター

名 護 健・松 瀬 博 夫
荻 野 美 佐・岩 崎 敏 展
岩 佐 聖 彦・広 田 桂 介
前 田 貴 司・梅 津 祐 一
志 波 直 人・永 田 見 生

九州工業大学機械知能工学科

田 川 善 彦

Muscle Strengthening Effects of Hybrid Exercise on the Quadriceps Femoris

Takeshi Nago, Hiroo Matsuse, Misa Ogino,
Toshinori Iwasaki, Kiyohiko Iwasa, Keisuke Hirota,
Takeshi Maeda, Yuichi Umezu, Naoto Shiba,
and Kensei Nagata

Kurume University Rehabilitation Center, Fukuoka, Japan

Yoshihiko Tagawa

Kyushu Institute of Technology, Fukuoka, Japan

We developed a "hybrid exercise" technique that uses the force generated by an electrically stimulated antagonist muscle to provide resistance to a volitionally contracting agonist. In other words, the agonist performs volitional concentric contraction against an electrically stimulated eccentric contraction of the antagonist. Hybrid exercise has several advantages. These include; 1) activation of type I muscle fiber as a result of the volitional contraction of agonist muscles, 2) simultaneous exercise both agonist and antagonist musculatures, 3) longitudinal bone force loads, 4) requiring minimal external stabilization of the subjects, and 5) proven safety of the electrical stimulation as a physical therapy modality.

Key words : electrical stimulation (電気刺激), muscle strengthening (筋力増強), antagonist (拮抗筋)

はじめに

入院臥床による筋骨格系廃用変化は、麻痺の無い患者においても起こる各科共通のものであり、早期離床、早期社会復帰と密接に関係する。

われわれは、関節運動時に拮抗筋を電気刺激し、こ

れを主動作筋の抵抗とする新しい運動療法 (Hybrid 訓練法: 図 1) を考案し、上腕における種々の検討を行い、障害発生なく効率よく筋力が増強できることを報告したが^①、廃用予防の臨床応用では、とくに下肢における効果と安全性が重要である。

目 的

健康人における 6 週間の Hybrid 訓練法の、大腿四頭筋に対する筋力増強効果を検討する。

対 象 と 方 法

久留米大学 IRB の承諾を受けた。実験に先立ち、被験者に対して実験に関する十分な説明を行った後、実験実施の承諾を受けた。

対象：健康男性 12 名，24 肢，平均年齢 20 歳。

Hybrid 法：6 名 12 肢。端座位膝屈伸運動に対し Hybrid 法（図 2）を行った。刺激条件は搬送周波数 5,000Hz，刺激周波数 20Hz，刺激強度は不快と感じない最大電圧とした。電極は大腿四頭筋（大腿直筋と

図1 Hybrid法の略図。関節が屈曲運動するとき拮抗筋の伸筋に電気刺激を与え収縮させる（伸展運動では逆）。主動筋は求心性、拮抗筋は電気刺激による遠心性収縮する。挟まれた骨には長軸方向に荷重が加わる。

内側広筋，外側広筋各1極）と内外ハムストリングに貼付した（図3）。ゲル電極上に銅板を貼付し，任意の大きさに作製できるもので，週1回新品に交換した。屈伸2秒10回を1セット，合計10セットを行った。セット間には1分間の休息を入れ，15分40秒間の訓練とした。これを週3回（月，水，金），6週間，計18回行った。

重錘運動：同じく6名12肢。端座位で40%MVCの重錘を用い，Hybrid法と同様に行った。

図3 電極の貼付部位
(a) 大腿四頭筋（大腿直筋，内側広筋，外側広筋）
(b) ハムストリング（内側，外側ハムストリングス）

図2 膝屈伸運動における Hybrid 訓練法

図4 筋力測定結果

メディカルチェック：訓練時毎回医師が被験者の状態を確認しながら実験を施行した。

筋力測定：膝伸展筋力測定にはKIN/COMを用い、測定可動域は膝屈曲10度から100度までとした。求心性及び遠心性収縮で角速度30°/secの膝伸展筋力を測定し、3回の平均値を求めた。刺激開始前、刺激開始3週間後、刺激終了時（6週間後）、刺激終了4週間後の合計4回計測した。

統計：繰り返しのある分散分析法（ANOVA）で、pが.05以下を有意とした。

結 果

メディカルチェック：全ての被験者が問題なく実験を終了し、障害の発生は無かった。

筋力測定：重錘と同等の筋力増強効果が得られた。求心性収縮、角速度30°/secでHybrid法にて訓練開始3週目で22%（p<.005）、6週目で26%（p<.001）増加、重錘では、3週目で19%（p<.005）、6週目で32%（p<.005）の増加を認めた。訓練終了4週間後それぞれHybrid法22%（p<.005）、コントロール

23%（p<.005）であった。同じく遠心性収縮ではHybrid法にて訓練開始3週目で12%（n.s.）、6週目で25%（p<.005）増加した。重錘では、3週目で17%（p<.05）、6週目で24%（p<.005）の増加を認めた。訓練終了4週間後においてもそれぞれHybrid法13%（n.s.）、コントロール18%（p<.05）であった（図4）。

考 察

先行研究で同じ刺激を与えるにも拘らず遠心性は求心性を50%程度上回るトルクを発生することを明らかにした⁴⁾。Hybrid法では比較的弱い刺激電流を用いても遠心性収縮で大きな筋張力が得られ、同一電気刺激を用いてもより有効な運動効果が得られる。今回実験に用いた刺激強度は大腿四頭筋、ハムストリングにそれぞれ求心性筋力を基準にして27.20%MVC、18.58%MVCであり、これまで効果が無いとされていた低い刺激強度となる¹⁻³⁾⁵⁾。これをHybrid法に使用する条件、すなわち大腿四頭筋の電気刺激遠心性収縮は四頭筋自発遠心性収縮と比較して31.64%MVC、

大腿四頭筋の求心性収縮に対するハムストリングの電気刺激遠心性筋力は 21.58%MVC (30°/sec) であり、訓練時間も休憩を除くと実質 6 分 40 秒、四頭筋、ハムストリングそれぞれの筋に対する電気刺激は 3 分 20 秒と極めて短時間であった。

Hybrid 訓練法は、①主動、拮抗両筋が同時収縮、②主動作筋は自発求心性収縮、拮抗筋は電気刺激遠心性収縮、③電気刺激が届かない深部筋は自発運動で収縮する、④運動時骨長軸に荷重が加わる、⑤機器がコンパクト、⑥電気刺激は医療に用いられる安全な技術、⑦電気刺激遠心性収縮は筋張力が大きく、より弱い刺激電流を用いることができる、⑧個々の筋への電気刺激は短時間、⑨自発収縮を行うため遅筋線維も賦活する、⑩重力に抗する運動ではなくても、拮抗筋の抵抗により人工的に運動抵抗を作製でき、体位を選ばない、などの特徴がある。

今後は本法の関節安定効果による膝十字靭帯損傷患者への臨床応用や、骨長軸荷重効果による大腿骨頸部骨塩への影響について検討したい。

ま と め

① Hybrid 法と、重錘法での筋力増強効果を比較した。

② 6 週間の実験では、実験を中断するような傷害発生は認めなかった。

③ 重錘による訓練とほぼ同等の筋力増強効果を認めました。

④ Hybrid 法では低電圧、短時間の電気刺激で筋力

増強が可能であった。

⑤ Hybrid 法は、大腿四頭筋においても有用な筋力増強法であると考えられた。

本実験の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号 14350138)の援助を受けた。本実験は(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクト「宇宙空間で有効な筋力維持装置開発の研究」の一環として行った。

参 考 文 献

- 1) Balogum, J. A., et al.: High voltage electrical stimulation in the augmentation of muscle strength: Effect of pulse frequency. Arch. Pys. Med. Rehabil, 74 : 910-916, 1993.
- 2) Delitto, A., et al.: Electrically elicited cocontraction of thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. A description and single-case experiment. Phys. Ther., 68(1) : 45-50, 1988.
- 3) Delitto, A., et al.: Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. Phys. Ther., 68(5) : 660-663, 1988.
- 4) 岩崎敏展, 他: 同一電気刺激による収縮形態の違いによる筋出力差—長期間の電気刺激による刺激強度と筋出力の変化—. 運動・物理療法, 15(1) : 32-37, 2004.
- 5) Richard, B. S., et al.: Biomechanics of human quadriceps muscles during electrical stimulation. J. of Biomec., 32 : 347-357, 1999.
- 6) Yanagi, T., et al.: Agonist Contractions Against Electrically Stimulated Antagonists. Arch. Phys. Med. Rehabil, 84(6) : 843-848, 2003.