

宇宙環境で有効な筋骨格系維持装置の研究

志波直人, 松瀬博夫, 名護健, 前田貴司, 梅津祐一, 田川善彦

Study of Effective Device to Maintain Musculoskeletal System in Space

Naoto Shiba, Hiroo Matsuse, Takeshi Nago, Takashi Maeda, Yuichi Umezu, and Yoshihiko Tagawa*

Rehabilitation Center, Kurume University, 67 Asahi machi, Kurume city, Fukuoka 830-0011 E-mail: nshiba@med.kurume-u.ac.jp *Kyushu Institute of Technology

We have developed “hybrid exercise” that is designed to strengthen and maintain the muscles by using electrically stimulated antagonist muscles to resist volitional contraction of agonist muscles as they move through their range of motion. This approach produces a minimum of inertial reaction forces and has the advantage that it may minimize the need for external stabilization that is currently necessary during exercise in a weightlessness environment.

Key words: disuse atrophy, musculoskeletal system, countermeasure

はじめに

臨床の臥床では、姿勢保持、持久性など、廃用による抗重力筋・遅筋の機能低下がしばしば問題となる。一方、宇宙空間での廃用でも同様に抗重力筋の機能低下が問題とされる。臨床と宇宙の廃用に着目し、電気刺激の骨格筋収縮を従来と逆に運動時対向する拮抗筋に与え、運動抵抗を作製する方法を考案した。自発と電気刺激筋収縮の混合運動であり、ハイブリッドトレーニング法 (HYB) とした(1)。

HYB の効果

20歳代の特別なスポーツを行っていない健康男性を用い、10回屈伸を1セット、セット間休憩1分間入れ10セット、合計15分40秒、週3回(月水金)の長期実験を上肢は肘屈伸運動、下肢は膝屈伸運動を対象にそれぞれ複数回行った。電気刺激筋力は等尺性最大筋力の約30%(30%MVC)、HYBで用いる遠心性電気刺激収縮では同一電気刺激で30%程度筋力が大きくなるため(3)、強度換算で約15RM、65%1RM相当となる。

A. 肘屈伸運動における効果

12週間の長期訓練を行ったところ、肘伸展筋力(三頭筋)はHYBで33%、従来の電気刺激単独(ES)では16%の筋力増強効果があった。筋肥大効果はそれぞれ16%と4%とHYBで明らかであった(1)。その後行った実験で刺激

強度を調整し、前回よりも短い8週間の訓練で二頭筋、三頭筋ともに30%を超える明らかな効果が得られた。このときの筋電による肘屈伸のMPF(mean power frequency)とMF(median frequency)を用いた筋持久性評価では(2)、上腕三頭筋は4週間のHYB後、持久性が向上していたがESでは持久性向上は見られなかった。

B. 膝屈伸運動の効果

大腿四頭筋の筋力増強効果は、6週で30%程度であった(10)。心拍数、血圧は30%程度上昇したが、運動終了とともに低下し、15分後には前の状態に戻った。呼気ガス分析による酸素摂取量の検討ではHYBはESの3倍増加、座位安静時の2~3倍であり、2~3METs (metabolic equivalent) の運動量であった。乳酸値は軽度上昇、電気刺激の速筋収縮作用によるものと考えられた。CKのピークは訓練後4日目に数千まで上昇、一般的な運動後の上昇パターンと同様であった。ノルアドレナリンの上昇は基準値内で、生体への侵害刺激が少ないと考えられた。GHは約1/3の被検者で基準値の100倍程度上昇がみられた。

4週間のULLS: UniLateral Limb Suspension (片側下肢免荷実験)で、HYBは筋力低下、大腿骨近位部骨密度低下とともに運動非実施者の1/3以下に抑えた(4)。

考察

HYB 装置は電気刺激装置に関節運動感知スイッチを付加する簡単な構造で、従来の運動機器のような抵抗を発生させる装置や大掛かりなフレームなどは必要としない。肘関節用装置ではダンベルが無くともダンベル運動が可能で、宇宙空間でもダンベル運動ができる(5)。従来の電気刺激では使用者の意思と無関係に刺激されるが、HYB では使用者の意思で関節運動するときのみ刺激が加わり運動抵抗となる。

A. 局所的影響・効果

a) 運動抵抗を自身の体内で作製

運動時拮抗筋に電気刺激を加えることで自身の体内に運動抵抗を発生させる。

b) 訓練時間短縮効果

同時に主動、拮抗両側が収縮し、有効に筋力増強訓練を行うことができる。

c) 深部筋自発運動効果

ES 単独では深部筋群に届かず収縮しないが、HYB では自発運動で訓練できる。

d) 省電力効果

遠心性では30%程度大きな張力が得られ(3)、低電流で訓練に必要な張力が得られる。1回15分40秒の訓練で休憩を除くと6分40秒、交互電気刺激であり、それぞれの筋への電気刺激は3分20秒と短時間である。

e) 広範運動単位動員効果

電気刺激では支配神経の軸索径が太く電気抵抗が小さい速筋へ電流が流れ、遅筋は優位に賦活されないとされる(5)。HYB では主動筋は自発収縮し遅筋も賦活、遅筋から速筋まで広範な運動単位が動員される。

f) 骨への力学的刺激効果

骨には長軸方向の荷重が加わり骨密度維持効果があると考えられる。

B. 全身的影響・効果

a) 神経系への影響

脊髄反射への影響が危惧されたが運動は容易で、ある運動課題を与えての運動と同様であった。前腕・手指6週間の長期訓練前後に宇宙服グローブの機能評価(D. A. Nice, et al., 1993.)と同様の評価を行ったが、作業性・巧緻性への影響はなかった。

b) 呼吸・循環器系

心拍数、血圧上昇は骨格筋の血流増加に伴

うものと考えられた。HYB で座位安静時の2~3倍酸素摂取量が増加、すなわち歩行程度の運動量であった。ES 単独で酸素摂取量は増加しないがHYB では抗重力筋である遅筋の活動により有酸素運動が行われたと考えられた。

c) 内分泌系
筋力増強・肥大と関係が深いとされる内分泌に関する検査値と、筋力増強効果との関連を明らかにすることはできなかった。

おわりに

HYB は宇宙空間など限られた環境の中でも有効に運動の機会を与えることができる方法である。今後はHYB の特性を生かし、バーチャルトレーニングなど、さらに進化させたい。

本研究は、(財)日本宇宙フォーラムが助成する公募地上研究により行われた。

参考文献

- 1) Tojirou Yanagi, Naoto Shiba et al: Agonist Contractions Against Electrically Stimulated Antagonists. Arch Phys Med Rehabil, Jun;84(6): 843-848, 2003.
- 2) Y Umezu, N Shiba, et al: Muscle Endurance and Power Spectrum of the Triceps Brachii in Wheelchair Marathon Racers with Paraplegia, Spinal Cord, 41; 511-515, 2003.
- 3) 岩崎敏展, 志波直人, 他: 6 週間の大腿四頭筋電気刺激耐用強度と遠心性および求心性筋出力の変化, 運動・物理療法, 15(1): 32-37, 2004.
- 4) Tsuyoshi Ito, Yoshihiko Tagawa, et al: Development of practical and effective hybrid exercise for use in weightless environment. Proc. of the 26th Annual Int'l Conf. of the IEEE, 4252-4255, 2004.
- 5) 志波直人, 他: スペースメディスン(航空宇宙医学)への応用が期待される電気刺激療法. 特集/新時代の運動器リハビリテーション. 整形外科, 56(8), 1141-1148, 2005.