Space Utiliz Res, 24 (2008) © ISAS/JAXA 2008

ハイブリッド訓練法による筋骨格系廃用萎縮の予防
～装着性・訓練効果の向上のための工夫～

吉光 一浩、松垣 亨、志波直人*、稲田 智久**、田川 善彦**

久留米大学 整形外科、*久留米大学病院 リハビリテーション部、**九州工業大学 機械知能工学科

Prevention of musculoskeletal disuse atrophy using “hybrid exercise”. Devices for improvement of the wearbility and the training effect

Kazuhiro Yoshimitsu, Toru Matsugaki, Naoto Shiba, Tomohisa Inada and Yoshihiko Tagawa*.*
Kurume University School of Medicine, 67 Asahi-Machi, Kurume, Fukuoka 830-0011
E-Mail: yoshimitsu_kazuhiro@kurume-u.ac.jp
*Kyushu Institute of Technology

Abstract: The "hybrid exercise" was established to prevent the musculoskeletal disuse atrophy of the astronaut under the microgravity environment. We developed “intelligent suit” incorporated the devices for the “hybrid exercise”, such as; electrodes, wires, joint motion sensors, simulator, and battery to improve the wearbility and the compatibility. The stimulator has 20ch for the training of upper limbs, lower limbs, and trunk at the same time. The virtual reality system also was developed to assure the effective training, and recorded the training history to feed back the information to examiner.

Key words: Disuse atrophy, Musculoskeletal system, Virtual reality, Countermeasure.

はじめに

我々はこれまでに、上腕・前腕・大腿の各部位において、ハイブリッド訓練法[4]を用いた機能的電気刺激[3]による訓練、評価を行ってきた[1][2][5]。

装置や電極の装着を容易に行う為、配線などを予め組み込まれたインテリジェントスーツを開発し報告してきた[6]。今回、同時に複数部位の訓練に対応する20chの電気刺激を行える刺激装置を作成し、これを制御し、適切な電気的刺激を加えるとともにバーチャルリアリティーを用いて訓練者へ情報をフィードバックできるプログラムを開発した。

刺激装置

刺激装置は、これまでの装置同様、刺激波形に搬送周波数5000Hz、刺激周波数40Hzのバースト波を採用し、電気刺激を最大20ch制御し、運動を感知するエンコーダを最大8ch制御するコンパクトな一体型モデルを開発した。バッテリーはNASA認可のビデオ用二次電池を採用した。頑丈なコネクタの採用のほか、誤ってスイッチを押したり、バッテリーが脱落しないような工夫を施している。

インテリジェントスーツ

ハイブリッド訓練において、適切な位置へ電極を貼付する事が必要であり、知識と慣れを要する。また運動を感知するセンサーの装着、これらと刺激装置を接続する配線もあり、装置一式を装着する際の煩雑さが問題となっていた。そこで、これらの問題を解消する手段として、配線を予め組み込み、適切な位置へ電極を貼付できる工夫を取り入れた、インテリジェントスーツを株式会社ゴールドウィンと共同で開発した（fig. 1）。

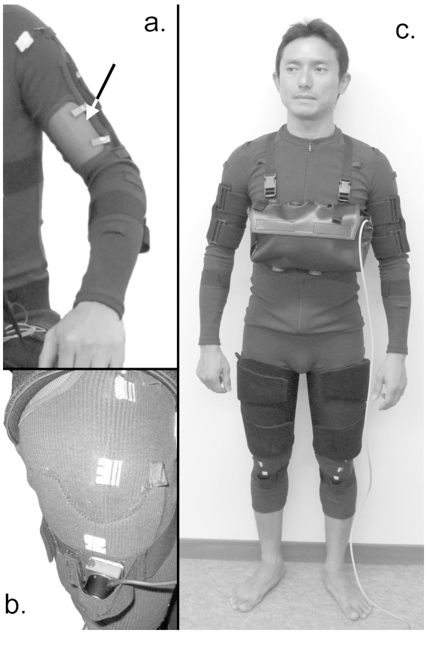

fig. 1 : Intelligent suit
a. Positions of electrodes were covered by mesh.
b. Motion sensors for the knee joint.
c. General view

This document is provided by JAXA.

スーツはアンダーウェアとして使用する事を想定し、保温効果と抗菌効果のある伸縮性のある素材を使用した。電極の貼付位置まで配線が組み込まれており、貼付部位はメッシュ状の素材とし、予め通電部分に銀織布の端子を設置し、その上から直接電極を貼付するだけで適切な貼付部位が得られるとともに通電が行なわれる。電極貼付部位には、運動により電極の剥離を防止するためのサポーターが取り付けられる。センサーは、スーツに用意された取り付け部位に装着する。刺激装置は体幹前面に装着し、運動の妨げになりにくい。これらは、訓練者一人のみで全て行えるように工夫している。

バーチャルリアリティーを用いた訓練ソフト

刺激装置を制御するとともに、訓練者へのフィードバックを行えるものとして、バーチャルリアリティーを用いた訓練・刺激装置制御プログラムを開発した。Windows および Mac OS X 上で動作し、訓練者の運動状態をパソコンのモニター上に、三次元モデルを用いて表示させるとともに、模範となる運動を行うモデルを表示し、このモデルに合わせて訓練を行うものである。画面上には、訓練に関する情報が表示され、訓練中の運動状態を良好なものに保つほか、訓練者に、運動状態をフィードバックする。電気的刺激は、訓練者に装着されたセンサーの情報を基に算出され刺激装置へ命令が送られる。訓練中の関節角度、電気刺激強度などは記録され、運動の解析などに利用できる（fig. 2）。

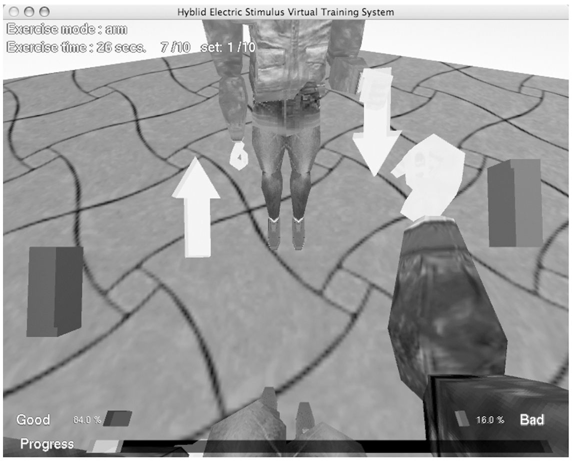

fig. 2 : Virtual reality training system
Exercise was shoed on the computer display, and its history was recorded.

微小重力下での動作実験

前述の刺激装置、インテリジェントスーツ、ソフトウェアの組み合わせを用い、ダイヤモンドエアサービス株式会社の協力の下、MU-300 型航空機を使用し、パラボリックフライトによる微小重力下でのシステムの動作実験を行った（fig. 3）。

実験では、上腕・大腿・体幹に対するハイブリッド訓練法によるトレーニングを行い、微小重力下での運動方法、有効性の確認のほか、インテリジェントスーツや刺激装置の動作検証も行った。計 4 回のフライトを行い、刺激装置、インテリジェントスーツ、制御ソフトとも微小重力に起因する問題が発生する事なく、無事実験を終了した。現在、実験で得られた情報の解析を行っているところであり、ハイブリッド訓練法による微小重力下での訓練方法やインテリジェントスーツの更なる改善が期待される。

a.　　b　　c.

fig. 3 : Hybrid exercise during parabolic flight
a. Upper limb exercise
b. Lower limb exercise
c. Trunk exercise

この研究は日本宇宙フォーラムが行う公募地上研究により行われた。

参考文献

1) 岩佐親宏他：前腕筋群のハイブリッド訓練法による手指機能への影響. 臨床バイオメカニクス学会.
2) Hiroo Matsuse, et al: Muscle Training by Means of Combined Electrical Stimulation and Volitional Contraction. Aviat Space Environ Med 2006; 77: 581-585.
3) Kralj, A.R., Bajd, T.: Functional electrical stimulation: Standing and walking after spinal cord injury. Florida, CRC Press, 1989.
4) Tojirou Yanagi, et al: Agonist Contractions against Electrically Stimulated Antagonists. Arch Phys Med Rehabil, Jun; 84(6): 843-848, 2003.
5) Toshinori Iwasaki, et al: Improvement in Knee Extension Strength through Training by Means of Combined Electrical Stimulation and Voluntary Muscle Contraction. Tohoku J. Exp. Med., 209; 33-40, 2006.
6) Naoto Shiba, et al: Study and Development of Intelligent suit to Maintain Muscles in Space, Space Utiliz Res 23, 277-280, 2007.

This document is provided by JAXA.