

宇宙環境で有効な骨格筋維持装置開発の研究 —微小重力でトレーニングが可能な着衣組み込み式装置の開発— 久留米大学医学部 リハビリテーションセンター 志波直人

1. 研究の背景と目的

宇宙の無重力環境では、筋肉や骨は重力による力学的な負荷が減少するため著しく萎縮する。このため、その予防は長期間の宇宙滞在のために解決すべき重要課題と位置付けられている。また、これと同様な筋肉や骨の萎縮は、入院時のように長期間寝たきりの時にも見られる。このため、このような萎縮への対策は、臨床においても早期社会復帰の重要な課題である。

このような萎縮を防ぐには、自分の体重を負荷とするような腕立て伏せなどや、重量物を上げ下げする運動が効果的であるが、宇宙の無重力環境では実現できない。

その対策として、従来とは逆の発想を持ち込んだ。肘を屈伸する運動を想像してみよう。曲げるときには肘の内側の筋肉（力こぶを作る筋肉）が働き（収縮し）、その外側の筋肉は働いていない。肘を伸ばすときにはその逆のことが起きる。このような一組になって働く筋肉のことを互いに拮抗筋という。

このトレーニング法は、自発的に肘を曲げようとすると肘の内側の筋肉が働く（収縮する）が、その時に少し曲がり始めたことをセンサーで感知し、通常は働かない外側の筋肉に電気刺激を与えて強制的に働かせる（収縮させる）ことを原理としている。すなわち、肘を曲げようとするとき、これを妨げるような力を発生させることで、あたかも重いダンベルを持ち上げるような効果（運動抵抗）を生み出すのである（図1）。また、このような運動では、骨に対しても力が加わるようになることから、骨の問題にも効果があると考えられる。これは膝の屈伸時などに働く筋肉（拮抗筋の組み合わせ）にも利用できることはいままでの間もない。

これが筋肉の自発的、強制的な収縮を組み合わせ、ハイブリッドトレーニング法である。これまでの電気刺激法では肩こり時などの緩和などに使われる低周波治療器などのように、使用者の意思とは無関係に電気刺激されることに対し、この方法では使用者の意思で運動したときに拮抗筋が電気刺激され、運動抵抗となる点が異なっている。

これならば重力がないところでも役に立つ。しかも装置はきわめて簡便である。

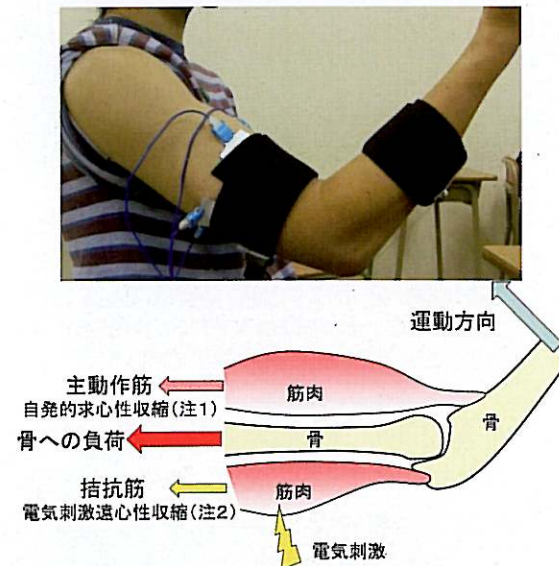


図1: 肘屈伸ハイブリッドトレーニング

下の図は屈曲の状態を示す。伸展では主動作筋、拮抗筋の関係がこの逆となる。無重力環境でもダンベル運動に類似の運動が可能。

本研究では、ハイブリッドトレーニングの効果を検証するとともに、宇宙飛行士用装置を作製し、臨床医学と宇宙医学の観点から同時に取り組み、互いの結果を反映し双方に貢献することを目指した。

2. 実施した内容と結果

トレーニング効果の検証

刺激装置、コントローラー、電源（充電式バッテリー）、電線、電極、関節運動感知センサよりなる汎用装置を作製し効果検証に臨んだ。

健康者での12週間の長期訓練実験で、肘屈伸運動でおおよそ30%の筋力増強と15%の筋断面積増大が得られ、手関節背屈筋力は25%、同伸筋群筋断面積は11%増加し、手先の細かな動作などに有害事象は認められなかった。同じく、6週間の膝屈伸運動では最大33%の膝伸展筋力増強効果が得られ、さらにトレーニングの条件などを再設定することで、より低電気刺激で、安定した筋力増強効果が得られることも解った。

宇宙飛行士用装置試作と航空機を用いた微小重力での動作検証

効果検証実験の結果を受けて、着衣に機器を取り付けた着衣型装置を試作した（図2A）。これに合わせて、さらに効果的トレーニングを行うためバーチャルリアリティー（VR）装置を開発した（図3）。航空機の放物線飛行による20秒間程度の微小重力実験によって、機器は正常に作動し想定した運動が可能であること、また微小重力下でもVRシステムによる指示通りの運動が容易となった。これらから、宇宙の無重力環境での使用が可能であると考えられる。

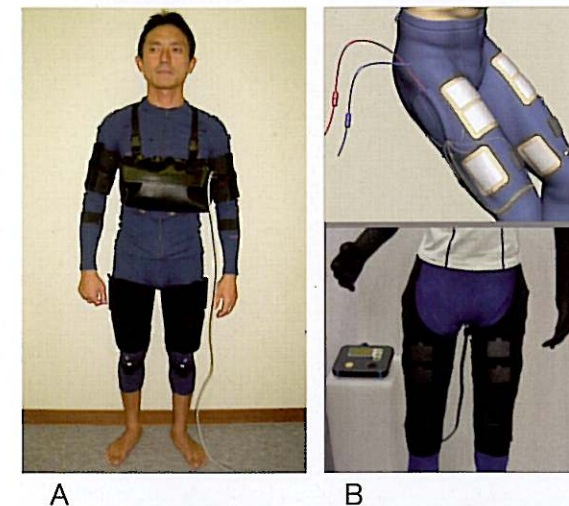


図2A: パラボリックフライトに用いた着衣式装置
20chの刺激装置や電源は胸のポーチに、電線、電極、関節運動感知センサは着衣に装着。
B: 2008年福祉機器展に展示した両膝屈伸トレーニング装置。

3. 今後の発展

2008年度国際福祉機器展に共同研究企業から参考出品し、現在、実用化準備が進められている（図2B）。2008年、本法がJAXAと国立極地研究所との共同研究テーマに選定され、2009年、第50次南極観測隊の被験者での極限環境下での実験が開始される。今後は宇宙飛行士用装置を改良し宇宙空間長期滞在で使用して効果を検証するとともに、その成果を臨床、福祉の現場へと還元したい。

本研究は、九州工業大学（田川善彦教授）、徳島大学医学部（二川健教授）の研究機関、ゴールドウィン、積水化成、アクティブリンクの企業による共同研究で行われ、その成果はAviation, Space, and Environmental Medicine誌などの学会誌や様々な学会で報告した。

関連特許

①特許 第3026007号、United States Patent No. US 6,456,885, 2002. 「筋力増強器」、②特願 2006-531957、PCT/JP2005/015374 「バーチャル映像を利用した筋肉電気刺激方法及び筋肉電気刺激システム」、③特願 2007-169554、PCT/JP2008/061548 「電気的筋肉刺激用着用具」、④特願 2008-050805 「筋力増強器の誤作動防止方法」

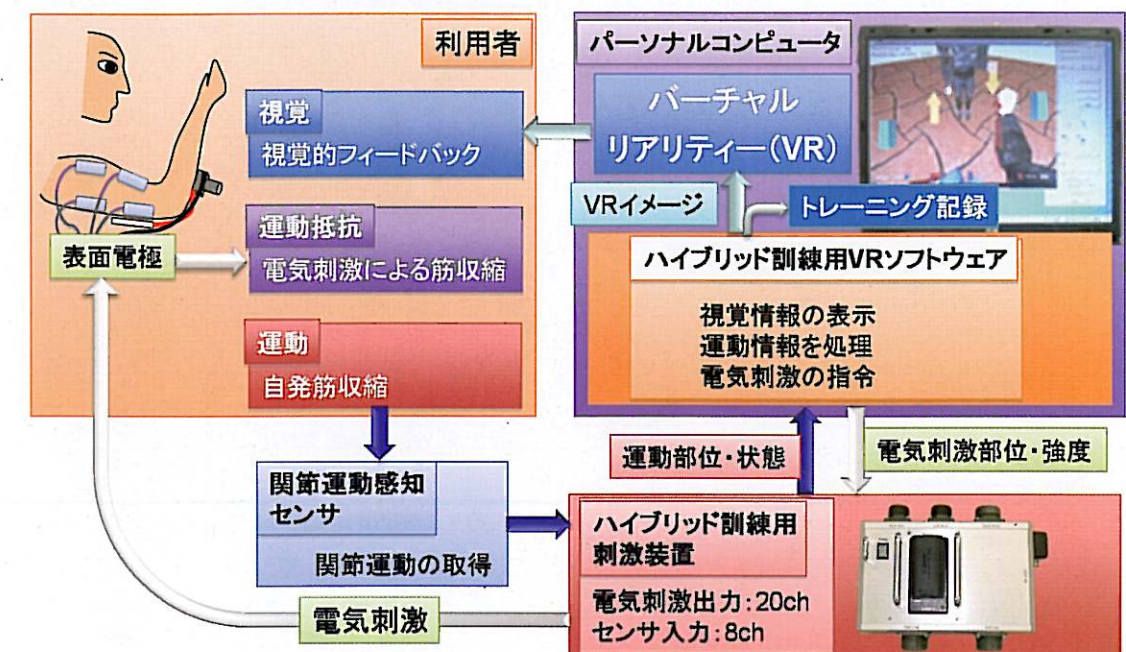


図3: ハイブリッドトレーニング用バーチャルリアリティーシステム