

学位論文の要旨

氏名	谷口 康太郎
学位論文題目	片麻痺肩屈曲・肘伸展リハビリのための 上肢運動選択拘束機構と運動計測・多種促通刺激制御システムの研究

本論文は、脳卒中片麻痺患者を対象とする電気・振動刺激等の多種促通刺激を用いた肘伸展と肩屈曲の分離訓練用のリハビリ装置の開発と臨床応用に関する研究についてまとめたものである。提案装置はアクチュエータを使用せず、多種促通刺激機能付きの簡素な装置によって上肢左右の肩屈曲と肘伸展の各々の訓練・評価を実現し、有効性と利便性、安全性を持ち合わせている。本研究では、まず共同運動分離訓練用の上肢各運動自由度選択拘束機構原理を提案し、機構を試作した。そして、提案装置訓練用の計測・評価システムを考案し、得られた運動情報から最適な促通刺激の介入制御を行いながら分離訓練を促すシステムを提案した。さらに、提案装置を用いて電気刺激条件を変えながら健常者ボランティアの訓練を行い、効果の良い電気刺激手法を提案・確立している。最終的には、振動刺激、電気刺激、電気・振動組合せ刺激を用いた訓練手法を考案し、さらに片麻痺患者ボランティアの訓練を行い、電気・振動刺激手法の短期的効果が有意に確認され、提案装置訓練の有効性を示している。本論文は6章から構成され、以下にその概略を示す。

第1章では、本研究の背景について我が国や世界における介護や医療的側面から現状の社会的問題点について触れて脳卒中リハビリテーションの重要性を述べ、先行研究における課題を挙げ、本研究の動機を述べた。さらに本研究において重要な、理学療法や生理学の理論について述べ、促通反復療法の原理に基づく共同運動の分離訓練における分離運動を促すための電気刺激や振動刺激の有効性や、分離運動を介助するために非目的運動を拘束することの重要性を述べ、本研究の必要性を論じた。

第2章では、本研究の特徴である上肢各運動自由度選択拘束機構を提案し、要求仕様や機構原理について述べた。本機構はモータ等のアクチュエータを用いず簡素にするため、上肢を挙上した状態で重力の影響を最小限にできる仰臥位の姿勢で装着する。肩の屈曲・伸展運動の際には非目的運動である前腕の1自由度、肘の1自由度、肩の3自由度を拘束し、さらに肩の屈伸に共同する4自由度の複雑な肩甲骨の動きに1自由度の能動機構のみで順応させる。また、肘の伸展・屈曲運動の際には非目的運動である前腕の1自由度、肩の全自由度を拘束し、目的の訓練運動を介助し、分離運動を促す機構を提案した。

第3章では、第2章で提案した上肢各運動自由度選択拘束機構を用いた訓練運動計測システムを提案し、システム構成や動作実験について述べた。本計測システムによって、肩屈曲と肘伸展の訓練運動時の関節角度と角速度を時系列データとして記録し、各訓練運動動作中の訓練関節角速度の最大値を訓練運動の俊敏さを計る評価指標として採用し、最大運動角速度を訓練運動毎に記録できる仕様とした。また、将来的には運動計測情報に基づく制御を行うことで、促通刺激操作の自動化が可能となることを示した。

第4章では、第3章で提案した上肢各運動自由度選択拘束機構を用いた訓練運動計測装置に促通刺激制御機能を追加し、訓練運動を計測しながら訓練肢の運動角度や角速度に応じて促通刺激の介入タイミングと刺激持続時間の制御を可能にする訓練システムを提案した。動作実験では実際に健常被験者に対して電気刺激を併用しながら装置による訓練の実験を実施した。本システムによって、訓練運動動作のみに運動閾値程度の電気刺激を導入し訓練した結果、平均運動角速度の上昇が見られ、電気刺激による随意運動の促進効果が確認され、本システムのリハビリ訓練への応用可能性が示唆された。

さらに、リハビリシステムによる訓練方法を提案し、異なる電気刺激強度による訓練実験で得られた最大運動角速度の結果を各電気刺激強度別に整理して検証した。電気刺激を用いない訓練前後の運動計測の結果により訓練の即時効果を比較した。運動閾値近傍の電気刺激強度において最大運動角速度の向上が確認され、本システムと訓練方法の有効性を示した。

第5章では本リハビリシステムを片麻痺患者に応用するための訓練方法を確立するために行った臨床研究についてまとめた。促通刺激条件や訓練回数等の訓練手法を変えながら訓練効果を検証し、最適な訓練方法を模索した。電気刺激と振動刺激を併用した場合の訓練効果が高いことが示された。また、評価手法についても訓練関節の俊敏さの指標となる最大運動角速度だけでなく、運動のスムーズさを表すことができる平均運動角速度の指標を用いることで、訓練前後の運動の俊敏さだけでなく、スムーズさについても評価を行い、両指標の評価値の有意な向上が確認され、本リハビリテーション装置の有効性を示した。

第6章では、本研究の結論を総括した。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Research on Motion Sensing and Multiple Facilitative Stimulus Control System
and Selective Arm-DOF Constrainable Mechanism
for Hemiplegic Shoulder Flexion and Elbow Extension Rehabilitation

Name: Koutaro Taniguchi

This thesis summarizes the research on development of rehabilitation device for the isolation movement training of elbow extension and shoulder flexion using a various facilitative stimulus such as electrical stimulation and vibration stimulus for hemiplegic stroke patients. In this research, we proposed requirements specification and principles of mechanism of the device, and prototyped. Firstly, clinical research on able-bodied subjects was carried out to verify the effectiveness of the device. Furthermore, clinical experiments demonstrate the clinical practicality of this system by changing conditions of facilitative stimulus and method of training. This system consists of a selective DOF constrainable mechanism and a facilitative stimulation timing and duration control system. The selective DOF constrainable mechanism enables the separation of synergic movement during shoulder flexion and elbow extension training by constraining each individual joint to target the training exercise. Furthermore, the facilitative stimulation timing and duration control system allow for controlled intervention timing and duration of shrinkable electrical stimulation (SES) and vibratory stimulation according to the training joint angle and angular velocity. In addition, this rehabilitation system is economical and convenient, because it enables training movements of both the elbow and shoulder using a single device. Moreover, this system is safe because there are no actuators. In addition, the research suggests that the effectiveness of a combination of SES and vibratory stimulation is better than vibratory stimulation alone. Therefore, clinical experiments demonstrate the clinical practicality of this system. This thesis consists of six chapters. The summary are as follows.

Chapter 1 describes a background on this research from the point of view as nursing care and medical. In addition, motive on this research is described by mentioning issues of previous research. An essential theory of physical therapy and physiology on this research have been described. Furthermore, necessity of this research are discussed, due to mention about an importance to constrain the non-deliberate movement in order to assist an isolate movement and an effectiveness of electric and vibratory stimulation in the isolate movement separating from synergic movement.

Chapter 2 proposes a selective DOF constrainable mechanism for shoulder flexion and elbow extension training for hemiplegic rehabilitation. Requirements specification and principles of the mechanism was described. Rehabilitation training of upper limbs should be performed in a supine position, with arms lifted, in order to minimize the effect of gravity on the weight of the user's arm

and the device. The mechanism should be applied to the training of right and left arms using a single device. In addition it should be adjustable to fit the different length of upper limbs for various patients. In the case of shoulder flexion training, the mechanism should neutralize synergic movement to constrain DOF of upper limbs except for flexion-extension of the shoulder and scapula movements accompanied by shoulder flexion-extension. In the case of elbow extension training, the mechanism should neutralize synergic movement to constrain DOF of wrist, shoulder, and scapula movements accompanied by elbow extension-flexion. The mechanism should support and restrict motion range of deliberate voluntary movement with elbow flexion and elbow extension in order to train safely, because hemiplegic patients cannot deliberately control the paralyzed limb without any support. Moreover to separate the target training exercise from synergic movement, the mechanism should have built-in sensors in order to automatically deliver the facilitation stimulus to the desired training muscle.

Chapter 3 proposes a system which measures elbow and shoulder flexion-extension movements by sensing the velocity and angle of the training joint. Utility of the system is confirmed by the results of measuring the angle and angular velocity of training joint during training exercise of operational experiments. Quantitative evaluation is possible through comparison of maximal angular velocities of deliberate targeted training motions, before and after, using the proposed system.

Chapter 4 proposes a system which controls the timing and duration of SES and vibratory stimulation for elbow and shoulder flexion-extension movements by sensing the velocity and angle of the training joint. An operational experiments were carried out with actually giving electrical stimulation to the able-bodied subjects. Utility of the system is confirmed by comparison of maximal angular velocities of deliberate targeted training motions, before and after, using the proposed system. In addition, training method using this system is proposed, it was verified to organize the results of the maximum movement angular velocity obtained in training experiments for each electrical stimulation intensity. Immediate effects of training were compared by the results of motion measurement before and after training without using electrical stimulation. Improvement of the maximum velocity of training motion showed the effectiveness of the device confirmed on the vicinity of the threshold of exercise of electrical stimulation intensity.

Chapter 5 describes about clinical trials for stroke patients using this system. As a result, maximal angular velocities of shoulder flexion and elbow extension training improved significantly in most subjects. In addition, the research demonstrates that the effectiveness of a combination of SES and vibratory stimulation is better than vibratory stimulation alone. These clinical experiments demonstrated the clinical practicality of this system.

In Chapter 6, the conclusions of this research were summarized.