

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：51101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01448

研究課題名(和文)パーキンソン病患者のQOL向上の為に新たなリハビリシステムの創生

研究課題名(英文)Creation of a new rehabilitation system for improving the quality of life of patients with Parkinson's disease

研究代表者

黒沢 忠輝 (KUROSAWA, Tadateru)

八戸工業高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：40259792

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はパーキンソン病患者のQOL向上を目的とし、我々は低周波振動刺激が筋固縮症状に及ぼす影響を調査するために、低周波全身揺動装置の開発を行った。患者に対する臨床試験の結果、固縮と四肢の運動に有意な改善が認められた。また、固縮症状を客観的かつ定量的に評価するために、医師に代わり患者の前腕を機械的に屈伸させ評価する前腕揺動装置と計測システムを開発した。用意した機械的擬似前腕を用いてそれらの評価を行い、優位性と改善点を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is improving the quality of life for Parkinson's disease patient, in order to investigate the effect of low frequency vibration stimulation on muscle rigidity, we developed a low frequency whole body oscillating device. As a result of clinical trials on patients, significant improvement was observed in muscle rigidity and limb movements. In order to objectively and quantitatively evaluate the muscle rigidity, we developed a forearm fluctuation device that mechanically bend and stretch the patient's forearm instead of a doctor and a measurement system. We evaluated them using the prepared mechanical pseudo forearms and clarified the advantages and improvements.

研究分野：人間医工学

キーワード：理学療法 リハビリテーション 全身振動 筋固縮

1. 研究開始当初の背景

(1) パーキンソン病(以後 PD と記述する)は高齢化社会の進行とともに診断例が増加しており、その理学療法は PD 患者の機能的な制限や能力低下を軽減し、生活の質(QOL)を高めるための重要な方法として位置づけられている。理学療法的介入の一つとして全身振動負荷は、神経筋疾患に対するリハビリテーションのみならず整形外科的疾患、さらにはスポーツ医学にまで広い領域において取り入れられている。代表者らは特に数ヘルツ以下での遅い振動で前庭系を主体に刺激を与える装置の開発を進め、PD の運動症状の改善について臨床試験を進めており、これまでの調査で姿勢反射障害の改善が見受けられるとともに、筋固縮症状の緩和が確認されており、遅い振動刺激による PD 患者の QOL の向上が期待できる。

(2) 一方で PD の臨床重症度の判定である Hoehn-Yahr 分類および UPDRS 評価は、臨床医の主観的な判断に依存し、またその臨床診断に時間を要するため、そこには熟練した診察技術と臨床的判断力が不可欠となる。そのため誰もが一致した診断を行えるとは限らず、また治療薬開発のための臨床治験においてもより客観的な評価が求められている。

2. 研究の目的

(1) パーキンソン病患者の日常生活での運動機能障害の緩和を目指す新たなリハビリシステムを創生することを目的とし、特に低周波振動刺激が患者の運動症状のひとつである筋固縮症状に及ぼす影響を調査するために、低周波全身揺動装置の開発と健常者および患者に対する臨床試験を行う。

(2) その運動機能の変化を客観的かつ定量的に行うために、医師に代わり患者の前腕を機械的に屈伸させ評価する装置を開発し、その結果と医師による診断との照合による診断の定量評価システムを構築する。

3. 研究の方法

(1) 全身振動装置の日常診療において実用可能な装置への改良および臨床試験を行う。
(2) 筋固縮症状の定量評価を行うための肘関節を中心とした上肢の揺動計測装置および計測・推定計算システムを構築する。

4. 研究成果

(1) 開発したスイング型全身振動装置を図 1 に示す。チェアの下方を支える半円形の鉄棒をローラーで前後に動かす仕組みである。足腰が軽く屈曲して患者にとって姿勢が非常に楽である。
パーキンソン病患者 12 名(平均ヤールステージ 2.6)に自動ロックチェアによる頭尾方向の振動を周波数 0.3 Hz、振幅 15 cm、10 分間、閉眼の状態与え、その前後に TUGT

および UPDRS Part を測定した。また、立位姿勢での前屈と側屈の程度を写真上で測定した。

結果、TUGT に有意な変化はみられなかった。UPDRS Part については振動負荷によって 22.3 ± 2.8 から 17.7 ± 2.2 へと有意な低下(改善)が認められた ($p < 0.01$)。さらに UPDRS Part のサブクラス解析では、固縮 ($p < 0.01$)と四肢の運動 ($p < 0.05$)に有意な改善が認められた(表 1)。立位姿勢での前屈と側屈の程度に有意な変化はみられなかったが、1 例のみで前屈角度が 28.8 度から 18.0 度へと著明な改善を認めた。

引き続き、ときわ台病院(青森県藤崎町)の協力を得て臨床試験を重ねている。



図 1 スイング型全身振動装置

次に、水平方向全身振動装置の開発を行った。座位や立位で鉛直方向に加振した場合、患者の姿勢保持や頸部や腰部、下肢骨格へ影響が懸念されるため、仰臥位の姿勢で水平方向に振動する全身振動装置を図 2 に示す。ベッドが長手方向に水平に往復する。往復にはクランク機構を用いており振り幅は 120mm である。テストでは 200kg の荷重まで 0.05Hz ~ 1.00Hz の間で 0.05Hz 刻みで変更することができる。

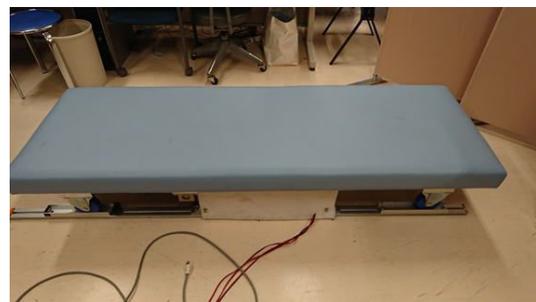


図 2 水平方向全身振動装置

健常者に対する臨床実験を行った。図 2 の装置を使用し、被験者の人数は男性 5 人女性 5 人の計 10 人である。実験条件は、振動数は 0.3Hz、0.5Hz、0.7Hz の 3 種類、振幅 94.2mm 振動曝露時間は 2 分、5 分、10 分で行った。それぞれの振動数での振動曝露の直後、5 分後、10 分後の閉眼歩行 5 歩の直線位置からの

逸脱距離を測定した。図3に振動0.5Hzの場合の測定の10名の平均値を示す。暴露直後から暴露後10分経過しても閉眼のバランス感覚に効果が見られることがわかる。ただしプラシボ効果や測定への慣れも考えられるため、引き続き実験を重ねる必要がある。

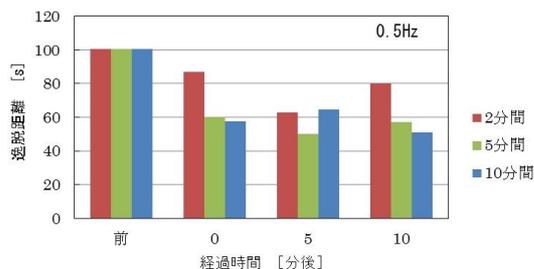


図3 閉眼歩行の逸脱距離

(2) 筋固縮症状の定量評価システムの構築を行うために、肘関節抵抗を測定評価するために開発製作した上腕揺動装置を図4に示す。本装置は、PCから制御信号が送られ、アンプを介してモータを駆動し、緑の揺動部が安全な範囲で上肢を乗せて肘を中心にスイングする。その時の入力トルクがトルクメータで、スイング角がポテンシオメータで測定され、PCに収集される。この入出力データを基に、既約分解表現を用いた対象システムの物理パラメータ推定法によってPCで計算され、肘関節の抵抗を数値的に表す。



図4 開発した筋固縮定量評価装置

また、高齢者男女の前腕の平均の重さや平均的な重心を考慮した肘関節を模した上腕を製作した。関節部に軸受けを入れて摩擦をなくすとともに、擬似上肢の肘関節抵抗をバネ抵抗と見立て、巻き荷重バネを組み込んだ。人体計測の統計から、高齢者男性の上腕質量は1.9kg、肘から重心までの距離は103mm、高齢者女性の上腕質量は1.55kg、肘から重心までの距離は89mmになるよう設計した。予備実験として擬似腕を立て、地面に対して水平に揺動運動させた場合、フックの法則からばね定数 K は式(1)のように表される。

$$K = \tau / \theta \dots \dots \dots (1)$$



図5 擬似上肢

求めた値は表1に示す。

実験は本装置に被験者上肢の代わりに擬似上肢を取り付け、揺動運動させる。プログラムによってモータを制御し、正弦波状の角速度を装置に与える。測定時間は20秒、4秒間で1往復し、計5往復させる。サンプリングタイムは100[msec]、揺動角は64[deg]として入力トルクと出力角度のデータ収集を行った。揺動制御のPIDゲインはカット&トライ方式で最適値を求めた。

推定計算の概要を以下に示す。人体関節を剛体リンクモデルと仮定し、慣性モーメントを I 、バネ定数を K 、トルクを τ とすると、運動方程式は次式で表される。

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + K\theta = \tau \dots \dots \dots (2)$$

この系の伝達関数は次式で表される。

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{\tau(s)} = \frac{1}{Is^2 + K} \dots \dots \dots (3)$$

となる。次に図6に示す左既約分解表現の構造を利用⁽¹⁾する。求めたいばね定数 K を任意の基準値 K_0 と実際の値からの偏差 δK を用い

$$K = K_0 + \delta K \dots \dots \dots (4)$$

と表すとともに、 $D_0(s)$ が可逆 ($D_0^{-1}(s)$ が存在する) であることを満たすための自由設計パラメータ T を用いて

$$D_0 = \frac{Is^2 + K_0}{(Ts + 1)^2} \dots \dots \dots (5)$$

$$N_0 = \frac{1}{(Ts + 1)^2}$$

$$V = 0, R = \delta K$$

$$U_D = \frac{1}{(Ts + 1)^2}$$

と書き換えることができる。

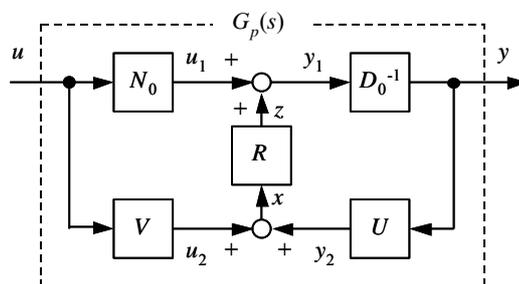


図6 左既約分解表現

$N_0(s)$ 、 $D_0(s)$ 、 $U(s)$ 、 $V(s)$ $D_0^{-1}(s)$ が安定プロパであれば、 R の入出力 x 、 z はシステムの入出力 u 、 y から次式ように求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} x(s) &= V(s)u + U(s)y \\ z(s) &= D_0(s)y - N_0(s)u \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

また図 6 の R の入出力を時間領域で表すと、
 $z(t) = Rx(t) \dots\dots\dots(7)$

最小 2 乗誤差により、

$$J = \int_0^T \{z(t) - Rx(t)\}^2 dt \dots\dots\dots(8)$$

J が最小になる条件は極大極小の計算より

$$\frac{\partial J}{\partial R} = 0 \dots\dots\dots(9)$$

よって

$$R = \frac{\int_0^t x(t)z(t)dt}{\int_0^t x^2(t)dt} \dots\dots\dots(10)$$

のように、入力 u と出力 y を測定できれば式 (6) および式 (10) を用いて R に含まれる偏差 δK を直接算出することができ、基準値を合わせて実際の値を求めることができる。

図 7 に男性擬似上肢を用いた場合の角度センサ、トルクメータ測定の一例を、図 8 に式 (6) および式 (10) を MATLAB により計算した例を示す。図 8 は揺動データを 20 回サンプリングし、設計パラメータ T についてその推定結果の分布を示したものである。これより $T=0.5$ 前後が推定値のばらつきが少なく、少量のサンプリングでも良好な推定を行うことができることを意味している。ただしその推定計算の平均値は予備実験と比較して 1/10 程度の結果となった。これは重力の影響やサンプリングタイムの粗さが影響してい

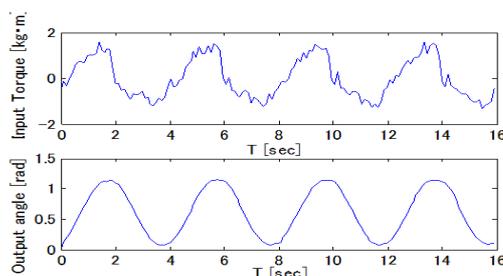


図 7 入出力波形

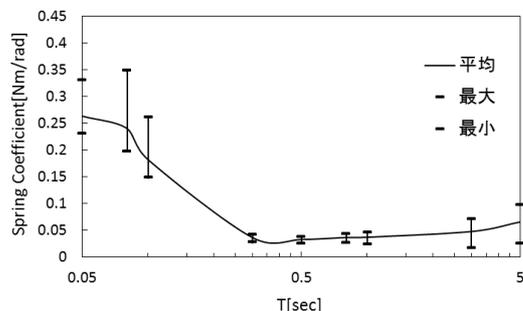


図 8 推定計算結果

と考へ、さらなる改善が必要である。また神経内科医である分担研究者と協議の結果、本装置の安全性には改善の余地があるため臨床試験は見送ることとした。

<引用文献>

事前情報を活用する物理パラメータの同定方法(第一報:新しい同定方法の提案), 大日方五郎, 黒沢忠輝, 川合忠雄, 日本機械学会論文集C編, 70 巻, 691 号, pp714-719, 2004.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 2 件)

久保沢周平, 黒沢忠輝, パーキンソン病症状に対する全身振動の影響, 日本機械学会東北学生会第 46 回卒業研究発表講演会講演論文集, pp124-125, 2016.

Kazuya Kannari, Isamu Ozaki, Tadateru Kurosawa, Greater improvement of motor symptoms of Parkinson's disease by slow body swaying with an automatic rocking chair than by simple rest on the chair, 1st Congress of the European Academy of Neurology, European Journal of Neurology, 22 (Suppl. 1), p747, 2015.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

[その他]

ホームページ等

http://www.hachinohe-ct.ac.jp/~muser/staff/kuro_kaken/kurosawa_15K01448.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒沢 忠輝 (KUROSAWA Tadateru)

八戸工業高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：40259792

(2) 研究分担者

神成 一哉 (KANNARI Kazuya)

青森県立保健大学・健康科学部・教授

研究者番号：20241466

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()