

機関番号：13903

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500480

研究課題名 (和文) 理学療法士・作業療法士養成のための患者ロボットの開発

研究課題名 (英文) Development of Patient Robot for students becoming physical therapist or occupational therapist

研究代表者

森田 良文 (MORITA YOSHIFUMI)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：00241224

研究成果の概要 (和文)：

理学療法士・作業療法士養成教育機関における下肢運動療法の教育実習のための下肢患者ロボットを開発し、教育現場導入に向けた教育効果を検証した。この患者ロボットでは、膝関節の固縮、拘縮、痙縮といった麻痺の症状や、関節可動域の低下などを再現できる独自の関節機構を用いることで、より人間に近い膝関節の運動を実現する。このような患者ロボットを用いることで、学生は臨床実習の前に訓練手技や検査手技の自主トレーニングが可能となり教育効果の向上が期待される。

研究成果の概要 (英文)：

We have developed a knee joint robot as an educational simulation tool for students becoming physical therapist or occupational therapist. The knee joint robot can simulate skew home movement (SHM) in a human knee joint. Moreover, the knee joint robot can simulate the knee joint movements of not only a healthy person but also a patient with knee joint troubles, such as range of motion (ROM) trouble, contracture, rigidity, spasticity and so on. The educational effect of the knee joint robot has been verified by the therapists.

交付決定額：

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：患者ロボット、膝関節、理学療法士・作業療法士養成、実習教材、障がい模擬、検査訓練手技、障がいモデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 理学療法士・作業療法士養成校では、文部科学省、厚生労働省が定める指定規則によって 810 時間以上の臨床実習が決められており、臨床実習の重要さが伺える。このため、臨床実習の前には学内実習が行われ、そこでは、先生と学生、あるいは学生同士が患者役

と療法士役に分かれて模擬演習が行われたり、骨標本などの教材を用いての障がいの評価法などの学習が行われている。しかしながら、健常者では模擬できない関節障がいもあり、事前学習が行えないことから学生の不安や臨床実習における指導者の負担増を招いている。そこで患者の障がいを模擬するロボ

ットを学内実習に導入することを提案する。これにより、学内実習において、様々な関節障がいについて体験学習を可能とし、この事前学習が臨床実習をより有意義なものにすると考える。また、本ロボットは動く骨標本としての利用も想定しており、結果として全体を通しての高い教育効果が期待される。

2. 研究の目的

療法士養成校におけるインテリジェント膝関節教材として膝関節の患者ロボットを開発する。以下、膝関節ロボットと呼ぶ。ここでは、療法士が実際の患者の膝関節を他動的に運動させた際、療法士が感じる膝関節の抵抗感を膝関節ロボットにおいて再現することを考える。この抵抗感は、膝関節の障がいの種類によって異なり、ロボット1台で種々の障がいを体験できることから、高い教育効果が期待される。さらに、教育現場への導入に向けて、教育効果を医療関係者と意見交換を行い、課題抽出ならびに解決を図る。

3. 研究の方法

(1) 人間の膝関節の屈伸運動のみならず、回旋運動も取り入れた、より人間に近い動きを可能とする膝関節機構を考案し、試作する。特に、膝関節の大腿骨と頸骨と間に生じる「転がる」、「滑る」、「離れる」の運動に着目する点が、本研究の特徴である。

(2) 膝関節機構が人間らしく動くための駆動機構を設計、試作し、膝関節ロボットを開発する。ここでは、膝関節の屈曲運動、伸展運動、内旋運動、外旋運動のそれぞれに対してワイヤ駆動によるテンドン制御を導入する。

(3) 膝関節ロボットを人間が他動的に動かした際、健常者の膝関節の抵抗感を、あるいは障がいのある膝関節の抵抗感を人間が手で感じるための、膝関節ロボットの数学モデルと運動制御アルゴリズムを開発する。

(4) リハビリ療法士による膝関節ロボットの体験から、人間らしい抵抗感の再現性ならびに教育効果の評価を実施する。この評価に基づき課題の整理ならびに解決を図る。

(5) 本研究では下記3つの教育効果を想定した教育プログラムを開発する。

① 健常な膝関節ならびに膝関節障がいの他動運動時の抵抗感を理解できる。抵抗感の変化、発現の違いから膝関節の構造、あるいは障がいそのものを理解することができる。

② 他動運動時の危険肢位を理解できる。人体における膝関節はその筋骨格からの制限を受けることで、運動を可能としている。例えば、膝関節最終伸展時に脛骨が大腿骨に対し軽度の外旋運動を起こすスクリー・ホーム・ムーブメント (screw home movement: 以下 SHM と示す) などがある。その制限を超えた状態である危険肢位を取ることはでき

ない。危険肢位を取ろうと外力を与えた場合、関節や神経系に負担をかけ、症状の悪化、新たな障がいの発現といったことも想定される。未然に防ぐためにも、危険肢位を理解することは、療法士として求められる知識の一つである。ロボットを用いることで、人体では行えない危険行為を徒手にて理解し、その評価法を取得することが可能となる。

③ 施術模擬が行える。訓練手技、検査手技を取得するためには、繰り返し学習が必要となる。本ロボットを導入することで、患者役の負担軽減が図られるのみならず、自主訓練による教育効果向上が望まれる。また、手技の中には、一定速度であることが重要なものもある。センサのついた本ロボットを相手とすることで、高い教育効果が望める。

4. 研究成果

(1) 人間の膝関節の構造ならびにその運動の解析から、膝関節ロボットの膝関節機構を新たに開発した。大腿と下腿に対応する二本のリンクが取り付けられた膝関節機構を図1に示す。その回旋運動の状態を図2表す。

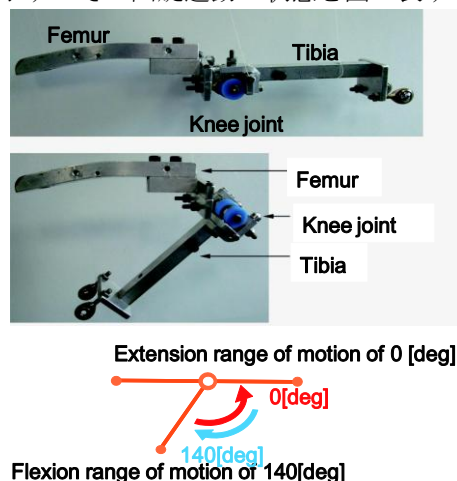


図1 膝関節機構 (最大伸展位と屈曲状態)

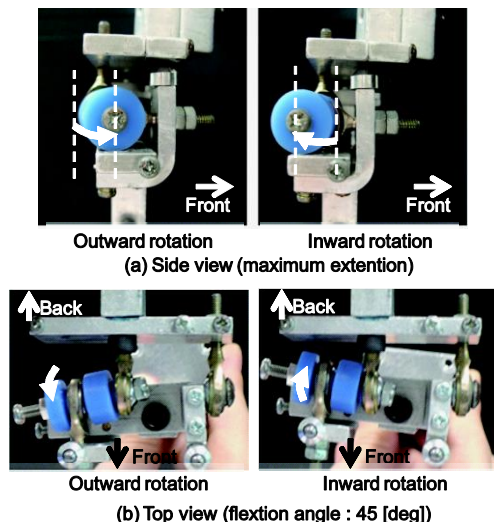


図2 膝関節機構 (回旋運動の外旋と内旋)

(2) 膝関節機構を駆動するための機構の設計および試作を行った。図3に駆動機構を示す。人間の膝関節は筋の収縮による屈曲、伸展に加え、筋および腱による内旋、外旋の計4方向の運動が可能となっている。それらの運動を可能とする膝関節機構において4つのワイヤ駆動を用い、テンドン制御を用いる。

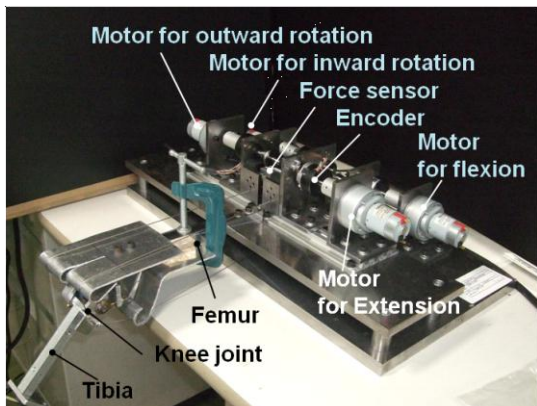


図3 膝関節ロボット（駆動機構）

ロータリエンコーダ、力覚センサから出力される信号は、DSP ボード(dSPACE, DS1104)のカウンタ、AD 変換器を通してそれぞれ取り込まれる。これらの情報を用い、DSP ボードに組み込まれたMATLAB/SIMULINK モデルによって、速度指令電圧を計算する。計算された所望の速度指令電圧は同ボードのデジタル I/O から PWM 信号として、モータドライバ(東芝, TA8440H) に出力される。このモータドライバは入力された PWM 信号、正転逆転信号によって、モータの速度制御を行う。これらの処理をそれぞれのモータに対して個別に行う。

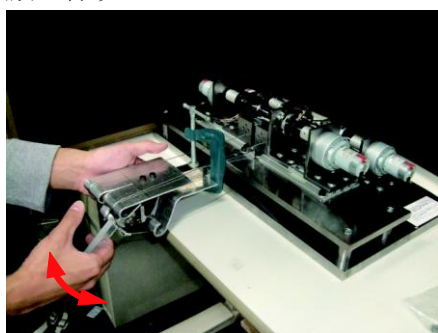


図4 膝関節ロボットの他動運動の様子

(3) 膝関節モデルと制御アルゴリズムを開発した。膝関節ロボットは4本のワイヤの張力を制御することで、障がいの有無や程度に応じた反力を提示するためのトルクを導出し、そのトルクを実現するための速度指令をモータに与える。

① 膝関節ロボットの運動学と逆運動学
屈伸運動について、2本の屈伸用ワイヤの移動量と屈伸角度との間の運動学と逆運動学

を求めた。逆運動学は解析的に求めることが可能であるが、順運動学は解析に求めることは困難であるため、可動範囲におけるワイヤの移動量に対する屈伸角度を数値シミュレーションから求め、それらを Look up table としてコントローラに実装した。回旋運動についても同様に得る。

② 膝関節モデルと制御アルゴリズムの開発
健全な膝関節の他動運動を模擬する膝関節運動の数学モデルを求めた。テンドン制御を行うことから、屈曲・伸展方向、内旋・外旋方向の4方向についてそれぞれ運動方程式を導出した。特徴として回旋運動を取り入れたことにより、SHM の再現が可能なモデルとなっている。また、膝関節ロボットで模擬する膝関節の障がいは、関節可動域障がい、鉛管様固縮、歯車様固縮、痙縮、ジャックナイフ現象、拘縮である。それぞれの数学モデルは、実際の患者の触診体験、ならびに療法士養成校の教員による模擬演技、インタビューから構築した。

③ 運動制御アルゴリズムの開発
膝関節ロボットの他動運動時の抵抗感の提示のために、インピーダンス制御に基づく運動制御アルゴリズムを開発した。

(4) 患者ロボットによる再現性検証実験

① 最終伸展位における SHM の再現アルゴリズムを開発した。図より最終伸展位から屈曲する場合に約5度の内旋運動が確認される。

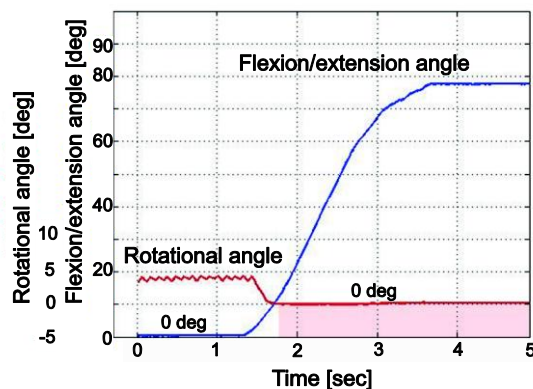
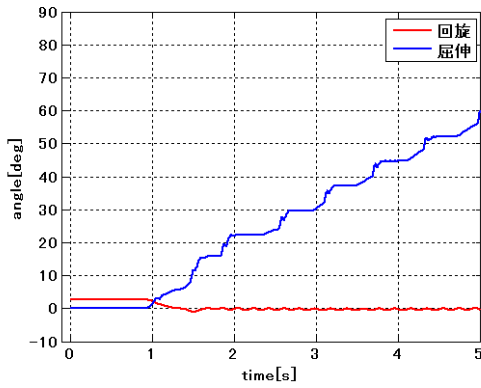


図5 最終伸展位からの屈曲運動（健常者）

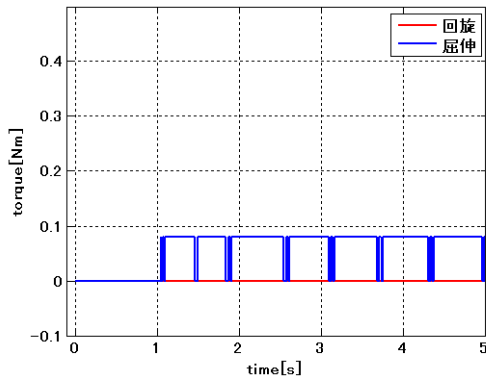
② 膝関節の可動域制限と可動域終端におけるエンドフィールの再現アルゴリズムを開発した。被験者実験からその効果を確認した。

③ 鉛管様固縮の再現アルゴリズムを開発した。鉛管様固縮は、他動運動に対して、速度に依存することなく一定の抗力を発生するため、一定の抵抗を感じることを被験者実験から確認した。

④ 歯車様固縮の再現アルゴリズムを開発した。歯車様固縮は、図6に示すように、他動運動に対して、断続的な抗力を発生するため、被験者は階段状の抵抗を感じる。



(a) 関節角度

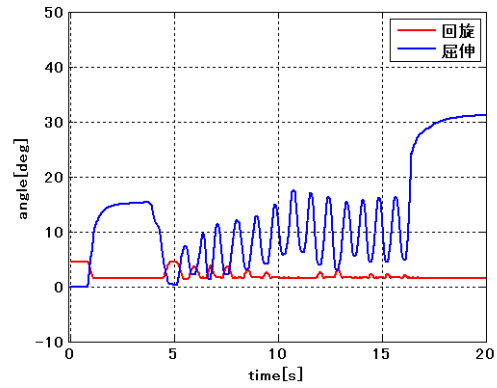


(b) 関節トルク

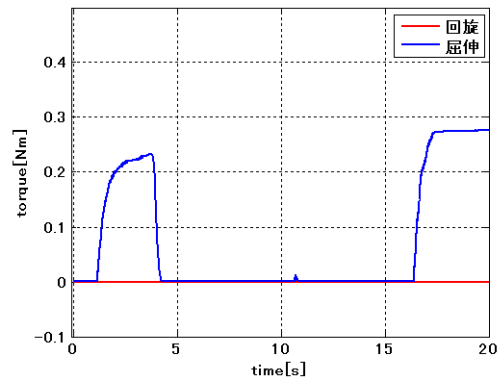
図6 歯車様固縮

⑤ 拘縮に対する関節モビライゼーションの訓練体験の再現アルゴリズムを開発した。拘縮は、靭帯や関節包の軟部組織の癒着や引きつれが原因として起きる可動域制限である。ここでは、拘縮を再現することで、関節モビライゼーションの訓練の模擬体験を可能とする。その治療方法に振動法を用いて、繰り返しの他動運動により関節可動域を広げる訓練を可能とするアルゴリズムを実装した。図7に訓練体験の様子を示す。訓練開始時の関節可動域が15度であるのに対し、訓練後には30度に拡大している様子が確認できる。

⑥ 健常者の膝関節の運動では、エンドフィールとSHMを再現した。一方、障がい者の膝関節の運動では、可動範囲障がい、鉛管様固縮と歯車様固縮、痙縮を再現すると同時に、関節モビライゼーションによる拘縮の治療行為を可能とする障がいを再現した。これらは、現場のリハビリ療法士の実体験に基づいて、膝関節運動モデルのパラメータを調整することにより、より人間らしい抵抗感になったことを確認した。さらに、教育効果を高めるためのパラメータの変更法、例えば抵抗感や動きを現実より大きく再現することで、注意を喚起するなどを検討し、取りまとめることが出来た。



(a) 関節角度



(b) 関節トルク

図7 拘縮に対する関節モビライゼーションの訓練体験

⑦ 今後の課題として、療法士養成校に膝関節ロボット試験導入することによる教育効果の検証、膝関節ロボットの機構部に「離れる」の機構を導入することによる再現可能障がいの拡大などが挙げられる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計9件)

主なものを以下に示す。

- ① Yoshifumi Morita, Yusuke Hayashi, Tatsuya Hirano, Hiroyuki Ukai, Kouji Sanaka and Keiko Takao, Development of Knee Joint Robot with Flexion, Extension and Rotation Movements - Experiments on Imitation of Knee Joint Movement of Healthy and Disable Persons -, Procs. on Int. Workshop of Robot Motion and Control 2011 (RoMoCo'11 in Poland) (2011.6.17) (To be published)
- ② Yoshifumi Morita, Yuki Kawai, Hiroyuki Ukai, Kouji Sanaka, Hironori Nakamuta, Keiko Takao, Development of Leg Robot for Physical Therapy Training - Proposal of Knee Joint Mechanism with Rolling, Sliding and Coming Off -, Procs. of Int.

Conf. on Control, Automation and Systems
2010 (ICCAS2010 in KINTEX,
Gyeonggi-do, Korea), pp.151-155
(2010.10.27)

- ③ 林祐介, 平野達也, 河合佑樹, 山崎一徳,
森田良文, 鵜飼裕之, 佐中孝二, 中牟田
祐典, 高尾恵子, 療法士養成のための膝
関節ロボットの開発, ワイヤード駆動系
の設計と基礎実験一, 日本機械学会ロボ
ティクス・メカトロニクス講演会'10 講
演論文集, 1P1-E18(1)-(2) (2010.6.15)
- ④ Yoshifumi Morita, Yuki Kawai, Hiroyuki
Ukai, Kouji Sanaka, Hironori Nakamuta,
Keiko Takao, Development of Leg Robot
for Physical Therapy Training - Proposal of
Knee Joint Mechanism with Rolling,
Sliding and Coming Off -, Procs. of 2009
International Conference on Mechatronics
and Information Technology (ICMIT2009 in
Gwangju, Korea), pp.333-334 (2009.12.4)
- ⑤ 河合佑樹, 森田良文, 鵜飼裕之, 佐中孝
二, 中牟田祐典, 林田浩, 高尾恵子, 下
肢運動療法習熟のための膝関節障がい
患者ロボットの開発 - 転がる, 滑る, 離
れるを実現する 新たな膝関節機構の提
案 -, 日本機械学会ロボティクス・メカ
トロニクス講演会'09 講演論文集,
1A2-L06(1)-(2) (2009.5.3)
- ⑥ 河合佑樹, 森田良文, 鵜飼裕之, 佐中孝
二, 中牟田祐典, 林田浩, 高尾恵子, 理
学療法士・作業療法士養成における実習
教育のための下肢ロボットの開発 - 転
がる, 滑る, 離れるを実現する膝関節機
構と駆動方法の提案 -, 第9回計測自動
制御学会システムインテグレーション
部門講演会(SI2008)予稿集, pp.1303-1304
(2008.12.7)

6. 研究組織

(1)研究代表者

森田良文 (MORITA YOSHIFUMI)
名古屋工業大学・工学研究科・教授
研究者番号：00241224

(2)研究分担者

鵜飼裕之 (UKAI HIROYUKI)
名古屋工業大学・工学研究科・教授
研究者番号：40135405