

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：33607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12882

研究課題名(和文) 関節可動域訓練の技能習得用教材となる症状選択型膝関節モデルの開発

研究課題名(英文) Development of switchable model of knee joint with malfunctions, for instruction of ROM exercise.

研究代表者

高嶋 孝倫 (Takashima, Takamichi)

長野保健医療大学・地域保健医療研究センター・教授

研究者番号：00425654

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：理学療法士・作業療法士の徒手関節可動域練習の技能習得用教材となり得る、正常から逸脱した機能障害のある膝関節の機械モデル(患肢膝モデル)の開発を行なった。
開発の流れは、(1)患肢計測実験、(2)(1)で得られた実測値から(3)を駆動するサーボモータの指令値を構築、(3)患肢膝モデルのハードウェアを構築、(4)システムの動作検証で構成される。
その結果、患肢計測実験で得られた角度-トルク線図からサーボモータ指令値を作成し、筋痙縮の強弱、屈曲最終域での終末感の調整がソフトウェアのモード変更を行うことで可能である患肢膝モデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は正常から逸脱した機能障害のある膝関節の機械モデル(患肢膝モデル)を開発するものである。開発された患肢膝モデルは理学療法士・作業療法士を志す学生が徒手関節可動域練習を実習するうえで有益な教材となりうる。患肢膝モデルを用いた徒手関節可動域練習の効果として、より実際の手技に近い技能の習得、さらには臨床に就く際の導入の容易性などの利点がある。これらは、実践的な実技教育を可能とし、現状では不足している即戦力となる理学療法士・作業療法士の輩出に、ひいてはリハビリテーションに寄与することが社会的意義となる。

研究成果の概要(英文)：We have developed a mechanical model of knee joint with dysfunctions, which can be used as a teaching material for acquiring skills for manual joint range of motion exercises by Physical Therapists and Occupational Therapists.

The flow of development is (1) limb measurement experiment, (2) constructing the command value of the servo motor that drives (3) from the measured value obtained in (1), (3) constructing the hardware of the affected limb knee model, (4) verification of the system operation.

As a result, it is possible to create a servomotor command value from the angle-torque diagram obtained in the affected limb measurement experiment, and adjust the strength of muscle spasm and the feeling of termination in the final flexion region by changing the software mode. We have developed a knee model for affected limbs.

研究分野：医療福祉工学

キーワード：関節可動域練習 膝関節インピーダンス 関節モーメント トルク制御

1. 研究開始当初の背景

ROM 練習は可動域が制限された関節の可動域拡大を図る手技で、運動療法の主要な治療手技である。可動域の制限は、関節軟骨、関節包、滑膜などで構成される関節構成体、皮膚、軟部組織などの周辺組織が制限因子となる器質的要因、関節運動に関与する筋の緊張亢進に代表される神経学的要因など、多様な原因により関節の内部抵抗として生じる。

最も訓練需要が高いことから今回着目した膝関節では、他動的に屈伸運動を行う際に術者の手に感じられる運動域の抵抗感は原因によって異なる。中枢神経疾患により生じる筋緊張亢進による可動域の制限は対応が求められる機会がきわめて多く、筋緊張が亢進した筋を伸長する方向への特徴的な運動域の抵抗感（ジャックナイフ様、歯車様など）が感じられ、ある関節角度を超えると力学的特性が急激に変化する最終域感で停止する。

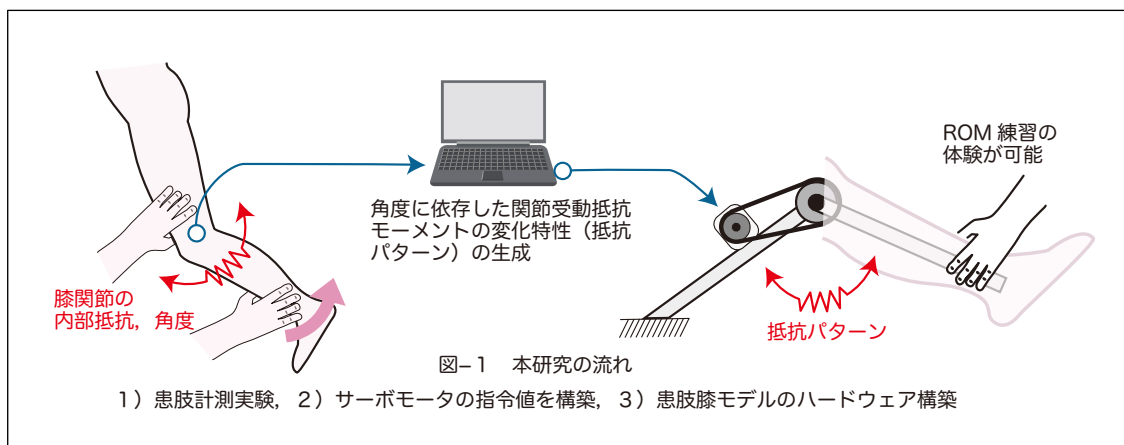
これらの感覚を ROM 練習の技術を学ぶ学生に体験させることは、国内で毎年約 2 万人が輩出される理学療法士・作業療法士の教育課程において重要であるが、学生が ROM 練習を実習で体験する機会は十分とは言えない。現状では、実際の患肢の状態とは全く異なる健常者である学生同士での模擬的な ROM 練習が行われているのが実情である。臨床実習においても多様な患者を経験することは少なく、実技教育の不足は明確である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ROM 練習において、手に感じられる抵抗感を学習するための機械モデル（本稿では；患肢膝モデル）を開発することである。機能障害を模した膝関節屈伸の最終域感を含む運動域の抵抗感を再現でき、学生の実習用教材となり得る患肢膝モデルを構築する。患肢膝モデルを用いた ROM 練習の効果として、より実地に近い技能の習得、さらには臨床に就く際の導入の容易性などの利点がある。これらは、実践的な実技教育を可能とし、現状では不足している即戦力となる理学療法士・作業療法士の輩出に、ひいてはリハビリテーションに寄与することを目指すとする。

3. 研究の方法

本研究は、1) 患肢計測実験、2) 1で得られた実測値から3を駆動するサーボモータの指令値を角度に依存した関節受動抵抗モーメントの変化特性(本稿では;抵抗パターン)として構築、3) 患肢膝モデルのハードウェアを構築、4) システムの動作検証、によって構成される。



患肢計測実験では健常肢および患肢に他動運動を行い、その際の最終域感を含む運動域の抵抗感および角度変化の定量化を行う。患肢膝モデルはコンピューター制御されたサーボモーターで関節の機能障害が再現され、制御プログラムの指令値は実測値を基盤として構築する。

多くの患者・患肢の計測が計画され実測値から、多種多様な症状を質的に、程度を量的に整理し、関節機能障害の抵抗パターンとして選択可能な患肢膝モデルの開発を行なう（図-1）。

4. 研究成果

1) 患肢計測実験は、コロナ禍の影響により病院内での計測実験を行うことが困難となった。このため、大学の実験室内で十分な感染予防対策を施したうえで、健常学生 8 名、膝関節に障害をもつ被験者 1 名の計測を行なった。実験の被験者に対しては倫理面についての十分な配慮を行い、本学の研究倫理委員会にて承認を得た上で実施した。

患肢計測実験では膝関節の内部抵抗のみを取得する必要があるため、そのための計測装置を作成した（図-2）。大腿部、下腿部の重量によるモーメントは本計測で求める膝の抵抗には含まれない成分であり、これを除外する必要があった。そのためには従来行われている ROM 練習と同様な仰臥位で膝を屈伸させる姿勢では、下肢重量によるモーメントが発生し、これが実測値に誤差成分として加わる。そこで患者側臥位においての計測とし、計測装置は膝関節の屈曲伸張を水平回転で可動する金属製リンク構造とし、大腿・下腿の水平リンクにカフベルトを取り付けて脚部を

保持して重量によるモーメントを排除した。次に、計測装置が関節の動きを阻害する力も無視できないため、大腿リンク/下腿リンクの回転軸は、膝関節屈伸に伴い移動する生体の運動にシンクロさせる必要がある。そのため、計測装置の膝継手には2軸リンク及び下腿カフにスライド機構を追加して冗長性を持たせることによって計測装置による外乱を排除した。以上が膝関節の内部抵抗のみを取得可能とした計測装置のコンセプトである。

リンク構造は患肢の重量に十分耐えうる設計とし、回転中心部に角度計測用のポテンシオメータ（緑測器 CP-2FB）、回転中心から任意の距離にトルク負荷を架けるためのハンドルおよびロードセル（共和 LMA-A-500）を設置した。これにより、徒手的に入力されたモーメントの算出値、およびそれによって生じた出力である関節角度変化が定量化され、これが計測結果である角度-モーメント線図となる。障害を有する患肢へのモーメント負荷は熟練した理学療法士が徒手的に行うことで安全を確保した。

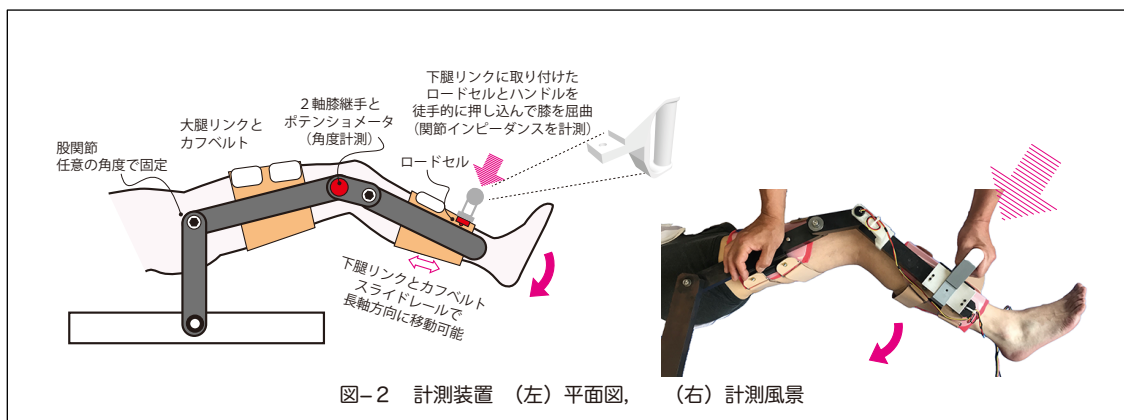


図-2 計測装置 (左) 平面図, (右) 計測風景

2) 患肢膝モデルに抵抗を生じさせるサーボモータの指令値は1で得られた実測値から構築した。まず、患肢計測実験1例から得られた膝関節角度と関節モーメントの関係から、サーボモータの回転角度を入力するとサーボモータの駆動トルク指令値が得られる関数を作成した。次に、作成した関数をマイコンボードに実装し、それをサーボモータの制御ドライバとして用いることで、膝関節の角度（サーボモータの回転角度）に応じた駆動トルク指令値をサーボモータに送信するシステムを作成した。マイコンボードが、膝関節角度の検出と駆動トルク指令値によるサーボモータの制御入力の送信を時々刻々行うことで、本システムによって膝関節の角度に応じた内部抵抗を発生させることができた。また、実験で得られた内部抵抗の特性が再現できたことに加えて、痙性の強弱、屈曲最終域での終末感などを変更可能なくつかのモードを展開することができた (図-3)。

当初の計画では、実測値である角度-モーメント線図に近似した関数を膝関節の抵抗パターンとして捉え、多種多様な抵抗パターンを症状ごとに質的に、また程度を量的に整理し、単独の、あるいは重複した抵抗パターンを選択できる特徴をもたせた構造として、抵抗パターンの各症状・程度を選択して設定することが可能で、その患肢になりきってくれる関節モデルを開発する

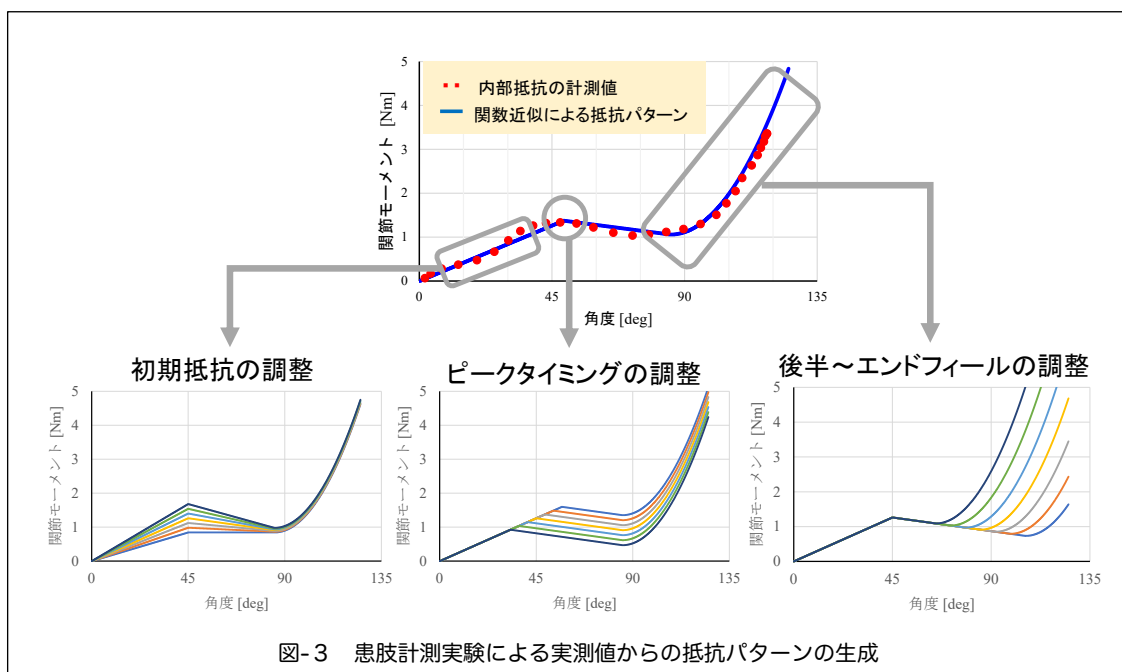


図-3 患肢計測実験による実測値からの抵抗パターンの生成

ことが目標であり、この点において他の類似研究と比較して独自性と創造性を持たせる予定であった。しかし、コロナ禍の状況で複数の患者・患肢を計測する事が不可能となり、推定による抵抗パターン化を試みる方法に変更した。

これにより、1症例からではあるが実験で得られた関節抵抗の再現に加えて、痙性の強弱、屈曲最終域での終末感の調整を個別に変更可能とした。

3) 患肢膝モデルの機構について；股関節はなくこれに相当する部分を固定され、大腿部に続く膝関節は1自由度のヒンジ継手とした。サーボモータによる膝の駆動はシリアルリンク機構とし、タイミングベルト、プーリーによって接続した。

患肢膝モデルの下腿部は実体感のあるモデルとし、下腿形状を模した軟部組織部の内部に骨格部を配して構造面、外観、触感を考慮したモデルを作成した。骨格部は骨格形状データより3DプリンタでPLA樹脂を造形した。軟部組織部はシリコン樹脂を材料とし、3Dプリンタを用いた下肢外型の内部に骨格部を設置して樹脂注型により製作した。これにより、ROM練習に使用される際の臨場感が得られることが期待される(図-4)。

トルク制御は、マイコンボード(OpenCR, ROBOTIS)とサーボモータ(XM540-W270-R, ROBOTIS)をシリアル通信接続することで、サーボモータへの制御信号の送信とサーボモータの状態取得を行うシステムを構築し、サーボモータの電流値制御モードを利用しマイコンボードから電流指令値をサーボモータに送信することで実装した。サーボモータの電流指令値と出力されるトルクの関係は予備実験で取得した。

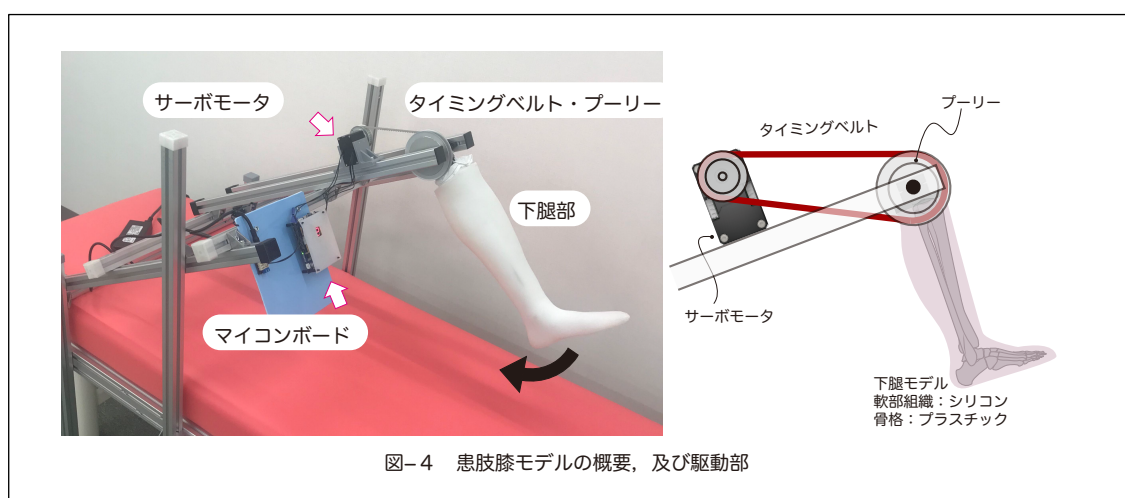


図-4 患肢膝モデルの概要、及び駆動部

4) 患肢膝モデルの検証試験は理学療法士複数名により行った。

図-3に示した複数の抵抗パターンを再現し、手に感じる抵抗感を検証した。患肢膝モデルによるROM練習は膝関節伸展位(0°)から屈曲方向に約120°まで行なった。筋緊張亢進による患肢の実例では動かしはじめに抵抗があり、その後に減弱するジャックナイフ様の特徴がある。本装置では筋緊張亢進に特有な屈曲運動初期の抵抗の増加とその後の減少が再現されていた。また、最終域での抵抗感は臨床で経験するものに類似していた。

屈曲運動初期の抵抗感および最終域での抵抗感ともに複数の抵抗パターンにおいて、各々の違いを検者が感じ取ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 平野 靖治, 内藤 尚, 高嶋 孝倫, 福谷 保, 丸山 貴之, 田中 志信
2. 発表標題 徒手ROM訓練支援システム用模擬脚のための膝関節受動抵抗の再現
3. 学会等名 日本機械学会第31回バイオフィロンティア講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuharu HIRANO, Hisashi NAITO, Shinobu TANAKA, Yuichi NISIKAWA, Takamichi TAKASHIMA, Tamotsu FUKUTANI, Takayuki MARUYAMA, Shinobu TANAKA
2. 発表標題 "Reproduction of knee joint impedance by servomotor for simulated leg for manual ROM training support system"
3. 学会等名 The 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics(国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	福谷 保 (Fukutani Tamotsu) (00446171)	長野保健医療大学・保健科学部・専攻長 (33607)	
研究分担者	丸山 貴之 (Maruyama Takayuki) (30727160)	国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・学院 (研究所併任)・義肢装具士 (82404)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	内藤 尚 (Naito Hisashi) (40392203)	金沢大学・フロンティア工学系・准教授 (13301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協 力 者	平野 靖治 (Hirano Yasuharu)	金沢大学・フロンティア工学系・修士 (13301)	
研究 協 力 者	下田 浩一 (Shimoda Hirokazu)	長野保健医療大学・保健科学部・助教 (33607)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関