

理学療法訓練支援のための上肢疾患用患者シミュレータの開発

Development of a Patient Simulator for Upper Limb Disorder to Support Physical Therapy Training

- 有松崇行 (芝浦工大) 高木基樹 (芝浦工大) 井上薫 (首都大) 伊藤祐子 (首都大)
 高橋良至 (東洋大) 寺田尚史 (三菱プレシジョン) 川上幸男 (芝浦工大)
 小山浩幸 (芝浦工大) 山本紳一郎 (芝浦工大) 米田隆志 (芝浦工大)

Takayuki ARIMATSU, Shibaura Institute of Technology Motoki TAKAGI, Shibaura Institute of Technology
 Kaoru INOUE, Tokyo Metropolitan University Yuko ITO, Tokyo Metropolitan University
 Yoshiyuki TAKAHASHI, Toyo University Takafumi TERADA, Mitsubishi Precision
 Yukio KAWAKAMI, Shibaura Institute of Technology Hiroyuki KOYAMA, Shibaura Institute of Technology
 Shinichiro YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology Takashi KOMEDA, Shibaura Institute of Technology

Key Words: Patient Simulator, Rehabilitation, rigidity

1. はじめに

疾患や障害からの社会復帰において理学療法は重要な役割を果たしており、この理学療法の技術を修得するためには臨床による実技訓練が必要である。しかし、これには患者の協力が必要となるため、理学療法士を志す者が自発的に学習しようとしても困難な状況にある。一方、人体を模擬することで実際の人間に対して行う治療行為を訓練するための患者シミュレータが開発されている⁽¹⁾。しかし、主に医療用として開発されており、理学療法において重要となる疾患・症状の把握、治療技術の習得・向上を目的としているものはない。そのため、理学療法士に対してもリハビリテーションの技術の習得・向上のための患者シミュレータが必要とされている。

本研究では、前述の状況を踏まえて理学療法の治療行為を繰り返し訓練可能な理学療法訓練支援のための上肢疾患用患者シミュレータの開発を目的としている。

2. 開発したシミュレータ

2-1 シミュレータ本体機構部

リハビリテーションを必要とする身体の部位は様々であるが、本研究では屈曲伸展の1自由度運動であり、提示する力覚が小さい上肢肘関節を対象とした。開発した上肢疾患用患者シミュレータ、拡大した肘関節部を Fig.1, Fig.2 にそれぞれ示す。本装置は肩部から手先までを再現したもので、人体寸法データベースの平均値を参考に開発を行った。上腕長および前腕長はほぼ同じ長さとし、上腕囲および前腕囲は外装により調節可能であるため平均値以下とした。上腕は床面と水平の状態を基準として $\pm 45[\text{deg}]$ で調節可能とし、前腕の可動域(θ)は最大伸展時 $0[\text{deg}]$ から $140[\text{deg}]$ とした。前腕の構造は、使用者が前腕に触れた際の違和感をなくすために人間と同様の2本のシャフト構造とした。また、人間の肘関節は2軸であるため、前腕は楕円軌道を描き、回内/回外の動作を行う必要がある。これを、Fig.2のようにカムとフォロア、球面軸受を用いて表現した。カムを楕円形状にして肘関節に固定し、フォロアを前腕部に固定することで前腕は楕円軌道を描くことが可能となる。また、肘関節周りの回転は歯付きベルト・プーリ機構を介して肩関節部分へと伝えられる。この回転に対してトルクを加えることで使用者に動きにくい力覚を提示する。外観上の違和感を減少させるため、本体機構部には模擬皮膚をかぶせた。

2-2 システム構成

開発したシステムでは、肘関節角度をエンコーダで取得し、角度に対応して患者の症状を表現するために、MR ブレーキと DC サーボモータを組み込み、使用者に力覚を提示する。この2つを同時に使用することで、MR ブレーキによるパッシブな力覚提示、DC サーボモータによるアクティブな力覚提示が可能となり、疾患の表現の幅を広げることが可能とする。また、提示された力覚によって前腕部に使用者が加えるトルクをひずみゲージで計測し、評価することが可能である。

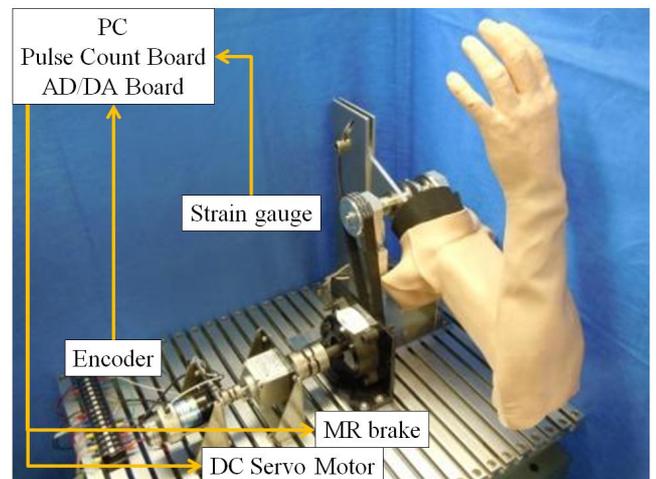


Fig.1 System configuration of Patient Simulator

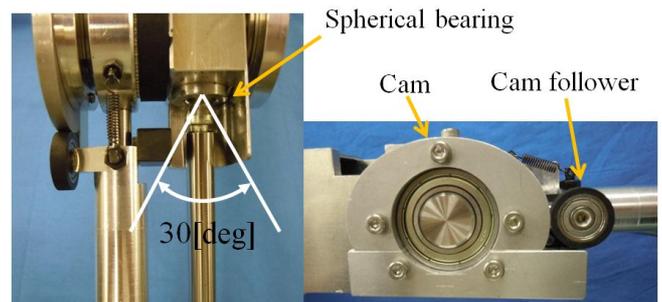


Fig.2 Enlarged view of Elbow joint

3. 表現対象とする疾患

開発したシステムでは筋肉の弛緩や緊張を表現するため、疾患の対象としては筋肉が固まり、関節の屈曲伸展を行った際に動きに抵抗が生じる痙性や固縮とした。痙性は、伸展開始時に抵抗が大きく、伸展中に徐々に抵抗が減っていく症状である。一方の固縮の中には、関節を動かすとほぼ一様の抵抗が生じる鉛管様固縮と、関節を動かすと歯車を回転させるように抵抗が間欠的に繰り返す歯車様固縮とよばれる疾患がある⁽²⁾。

また、従来の疾患評価はセラピストの経験により主観的に行われており、定量的な評価手法は実現されていない⁽³⁾。また、セラピストの主観の相違や患者の個体差により、一般的な疾患のモデルを作成することは困難である。このため、セラピストにより疾患の症状を調節して訓練に用いることが可能なアプリケーションソフトを用意することで対応することとした。

4. 模擬患者における疾患評価実験

4-1 目的および方法

歯車様固縮を表現するにあたり、その特性を知るために、ベテランのセラピスト2名で患者役と訓練者役になって、模擬患者役によって歯車様固縮を表現した際に肘関節角度とトルクの関係性を計測した。これは、実際のリハビリでセラピストは患者の肘関節を屈曲させ、その際に受ける抵抗を感覚的に診ているからである。力はロードセルを用いた計測装置で、肘関節角度はセラピストの手首、肘関節、肩にマーカーを取り付け、撮影した動画の画像を解析することで算出した。動画撮影速度は30[Hz]とした。また、計測された力と肘関節からセラピストが力を加えている点までの距離の関係から、肘関節周りのモーメントを求めた。

4-2 結果および考察

模擬患者役によって歯車様固縮を表現した際に訓練者役の肘関節角度とトルクの関係性を計測した結果を Fig.3 に示す。Fig.3 より、歯車様固縮では肘関節の伸展開始時である $\theta=110[\text{deg}]$ 付近で最大となったモーメントが、肘関節が伸展するにつれ減少していく際に、モーメントが間欠的に繰り返す変化が見られる。この結果を基に、シミュレータで歯車様固縮の表現を試みることにした。

5. 疾患の表現

歯車様固縮の表現は、Fig.3 の特性を表現するために MR ブレーキと DC サーボモータを組み合わせて制御することで行った。具体的には、MR ブレーキが伸展開始時から一定に減少するブレーキトルクを提示した状態で、抵抗が間欠的に繰り返す症状を DC サーボモータにより伸展を補助する方向にトルクを発生させるときと発生しないときを 2[deg] 伸展するごとに繰り返すことで表現した。補助力は、伸展開始時から補助するときと補助しないときを繰り返し、20[deg] になった際に最大となるように増加させた。

6. 疾患表現の評価実験

6-1 目的および方法

今回開発したシミュレータで表現した歯車様固縮をセラピストに使用してもらい、肘関節周りのモーメントと肘関節角度を計測して評価を行った。

被験者はベテランのセラピスト3名とした。セラピストにシミュレータの肘関節から 200[mm] の位置の前腕部を把持した状態で伸展動作を行ってもらい、シミュレータの前腕部に加えるトルクをひずみゲージで計測するとともに、肘関節角度をエンコーダで計測した。

6-2 結果および考察

今回開発したシミュレータでの計測結果を Fig.4 に示す。

Fig.4 より、肘関節の伸展開始時から加えられるトルクが増加し、120[deg] 付近でモーメントが最大となった後に、肘関節が伸展するにつれてモーメントが増加と減少を繰り返す変化をしていることが確認される。

実際に、操作したセラピストからは歯車様固縮の一例である症状を表現出来ているという評価を得た。これは、モーメントが増加と減少を繰り返す変化がセラピストにははっきりと伝わったためだと考えられる。また、今回開発したシミュレータで採用したカムとフォロアによる前腕の楕円軌道、球面軸受による回内/回外動作はセラピストから人体と似ているという評価を得た。これは、前腕の楕円軌道に実際の人間で計測した前腕の軌道を用いたことなど人体との違いを補う設計を行ったためだと考えられる。しかし、ベテランのセラピストになると、筋肉や腱の伸びる感覚が必要との意見もあったが、疾患の症状を学生が学習するためには十分に使用可能だという評価を得た。

7. まとめ

理学療法士の技術習得・向上のために、理学療法訓練支援のための上肢疾患用患者シミュレータの開発を行った。MR ブレーキと DC サーボモータを組み合わせて歯車様固縮の表現を試みた結果、十分に疾患を表現可能なことを確認した。今後、実際の患者の症状との比較や、人体との違いを補うことにより有用なシミュレータを目指す。

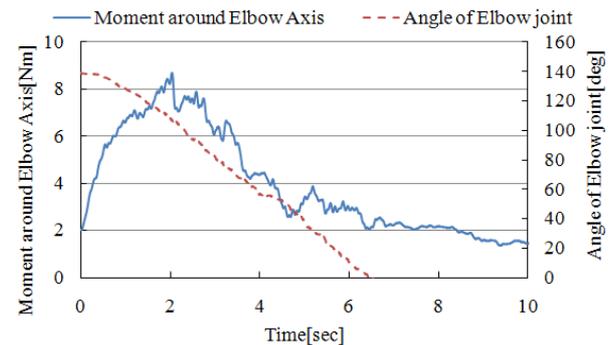


Fig.3 Cogwheel Rigidity

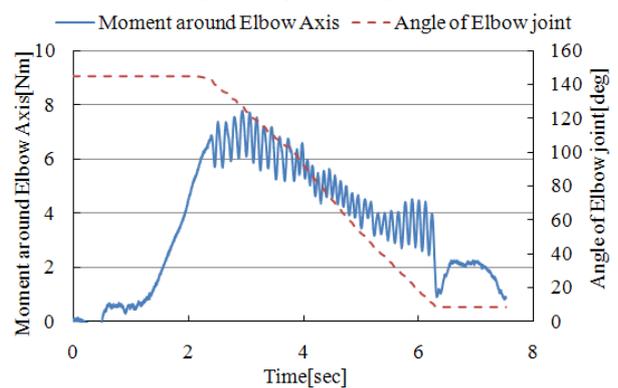


Fig.4 Cogwheel Rigidity (Patient Simulator)

参考文献

- (1) Medical Catalogue 2005, Nihon 3B Scientific, Inc
- (2) 田崎義昭, 斎藤佳雄, 坂井文彦, ベッドサイドの神経の診かた, 改訂16版, 東京都, 南山堂, 2004
- (3) Masaru.S, Hidetoshi.T, Naoichi.C, The evaluation of spasticity. Journal of clinical Rehabilitation, vol.11, no.1, pp.45-50, 2002