

指関節拘縮予防装置の開発

Development of a contracture prevention device for finger joints

○森知佳子(芝工大) 木下 崇史(国リハ) 米田 隆志(芝工大)

Chikako MORI, Shibaura Institute of Technology

Takafumi KINOSHITA, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Takashi KOMEDA, Shibaura Institute of Technology

Abstract: In recent years, there have been many bed-ridden people because of Cerebral accidents for elderly people in Japan. Almost of them have problems of their joints. In this condition, they cannot move their joints smoothly. It is called a contracture. If the symptom occurs for hand's fingers, patients have difficulties to live independently. Then, physical therapists (PT) take an important part in improvement and prevention for patient's disability. However, PT has to do rehabilitation training multiple times in a day. Accordingly, they not have much time to train many patients. For these reasons, patients cannot get appropriate training when they need. Therefore, we developed the contracture prevention device for finger joints. In this paper, we made evaluation experiments about extension degree and force of finger joints. For these experiments, we indicate this device can extend joints automatically by using cam and link mechanisms.

Key Words: Contracture, Prevention, Automatically, Cam and link mechanisms

1. 序論

日本では深刻な高齢社会の到来に伴い、脳卒中や転倒などが原因で寝たきりなどの状態になる高齢者が増加すると予想されている⁽¹⁾。寝たきりの状態になると、関節が固まり、動かしづらくなる拘縮が発生する。拘縮とは、関節可動域に制限が生じた状態で、日常動作に多用する指関節にこのような症状が発生すると、筆記・更衣・物体の把持などの動作が満足に行えなくなるため、日常生活に支障をきたす。拘縮の予防には、早期から患者の関節を他動的に動かす理学療法士によるリハビリテーションが必要不可欠である⁽²⁾。指に与える矯正力は、各患者の状態に合わせて、理学療法士がその都度、方向・速度・力の大きさを微調整する必要がある⁽³⁾。さらに、1日に高頻度で複数の患者に対して徒手を実施しなければならず、理学療法士の身体的負担が大きい。そのため、本研究では理学療法士の役割を代行し、指関節の関節拘縮を予防する装置の開発を目指す。具体的には、母指を含めた5指を手の内側から他動的に伸展可能な装置を開発する。

2. 指関節拘縮予防装置の試作

本研究では、対象者を拘縮予備軍の脳卒中患者とし、以下の4つのコンセプトに基づいて、母指用装置とその他指用装置に分けて装置を考案する。

①指関節を完全に伸展可能 ③簡単に装着可能

②軽量

④装着者への安全性確保

さらに、要求仕様として以下の3項目を設定した。

i)指関節を水平0[deg]まで伸展 iii)1指分装置の重量30[gf]

ii)伸展屈曲動作時間5~10[s]

伸展角度及び速度に関しては、現役の理学療法士との意見交換から拘縮予防に効果のあるとされる値に設定し、装置重量及び動力に関しては関連研究の装置構成を参考に設定した⁽⁴⁾。これらのコンセプト及び要求仕様をもとに3DCADを用いて設計を行った。今回は試作段階として指に装着するための装置を開発した。

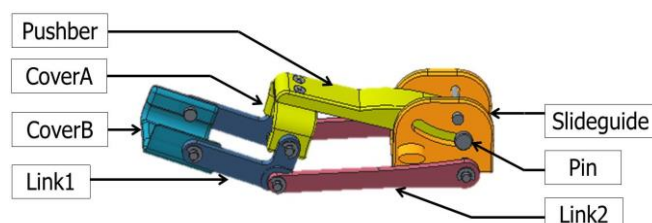


Fig. 1 design of the device

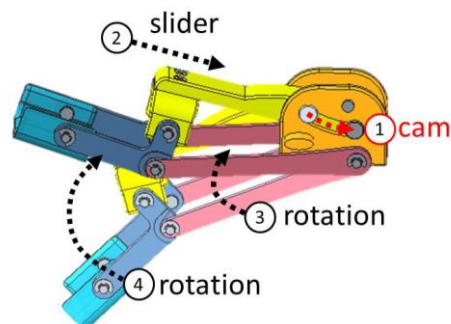


Fig. 2 mechanism of a cam and links

2-1 示指用装置の概要

2-1-1 伸展動作機構⁽⁴⁾

拘縮を予防するために理学療法士のように手の内側から患者の指を伸展可能にする機構を考案した。動力には小型モータを使用し、モータの回転運動をワイヤ引張力として利用することを考えた。また、部品点数削減のためにカム機構を用いるとともに、PIP関節及びMP関節を連動して伸展させるためにリンク機構を導入した。装置外観はFig.1に示すように7パーツで構成される。伸展動作の仕組みは、モータによるワイヤ引張力でFig.2に示したカム溝をpinが移動、それに結合されたpushbarがスライドし、指の両側に位置するlink1とlink2がそれぞれ回転運動する。これによって、アクチュエータ1つで指関節の連動した伸展が実現できる。

2-1-2 使用手順

本装置は Fig.3 に示したように、まずグローブを装着、手首部分にアクチュエータを取り付けたのち、装置をグローブに固定する。このとき、指は coverA, link1, link2, pushbar で囲まれた部分にはめ入れ、coverB の上に Fig.3 の茶色枠で示したような指の中節骨部分に乗せる。動作は Fig.3 の赤色枠の pin が、アクチュエータの回転によるワイヤの巻き取りによって矢印 a の方向に引張られたときに、link2 が矢印 b の方向、link1 が矢印の c 方向に回転することで指関節の伸展を行う。初期位置は手に力が入っていない自然状態とし、各指関節角度 0[deg]の位置まで伸展したのち、モータを逆回転させることによってワイヤが緩み、指の骨格の働きのみで自然に初期状態に戻る。

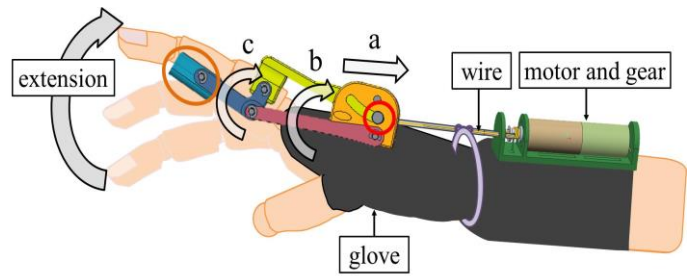


Fig. 3 mechanism of movements

2-1-3 試作グローブ

本装置は指に装着して使用するため、指と装置を固定しなければならない。そのため、手の甲を覆うグローブを試作し、グローブと装置を手の甲上で固定する。装置使用時にグローブ自体がモータ巻き取り方向へずれることを防ぐため、Fig.4 に示したようにグローブ上部の輪に指をはめることで位置を固定する。装置とグローブの取り付け方法は、slideguide底面のスナップピン凹とグローブ表面のスナップピン凸を合わせるだけであり、容易に装着が可能である。また、必要以上のワイヤ巻き取りが発生した場合には、スナップピンが外れ、指の伸展が不可能になるため、安全性を確保できると考えられる。さらに、グローブ上にアルミニウム製のプレートで簡易的に縫い付け、動作中に装置と動力部の距離が一定になるように設定している。

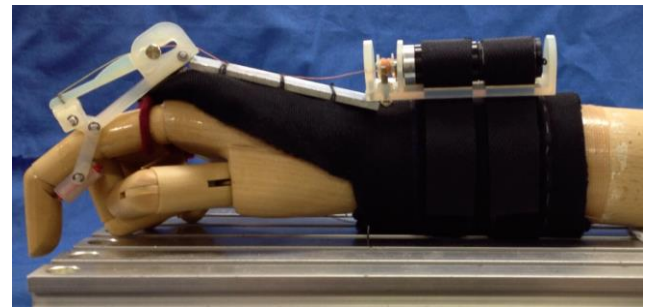


Fig. 4 prototype of the device (for index finger)

3-2 実験結果及び考察

X座標・Y座標から各関節角度を算出した一例が Fig.5, Fig.6, Fig.7 である。結果として、DIP 関節では初期角度 38[deg]から 0[deg]に収束、PIP 関節では 30[deg]から 0[deg]まで減少したのち 24[deg]に収束、MP 関節では 11[deg]から 0[deg]まで減少したのち 28[deg]に収束していることが確認できた。本来のヒトの指関節における可動域は、DIP 関節が伸展 0[deg]・屈曲 80[deg]、PIP 関節が伸展 0[deg]・屈曲 90[deg]、MP 関節が伸展 45[deg]・屈曲 90[deg]である。しかし、今回用いた木製の手モデルでは DIP 関節が伸展 34[deg]・屈曲 94[deg]、PIP 関節が伸展 40[deg]・屈曲 86[deg]、MP 関節が伸展 32[deg]・屈曲 76[deg]であったため、ヒトの関節可動域と一致していなかった。そのため、PIP 関節では本来 0[deg]に収束すべきところで過伸展が発生し、MP 関節においてはモデルの最大伸展角度が 32[deg]であったために 45[deg]を下回った値で収束してしまったと考えられる。木製の手モデルを用いたために、一部ヒトの伸展角度変化と異なった結果となってしまったが、試作装置を用いて指の伸展動作が可能であることが確認できた。今後は、ヒトへ装着して評価実験を行う必要があると考えられる。また、各関節における伸展開始及び終了時間について着目すると、MP 関節、DIP 関節、PIP 関節の順に伸展を開始し、PIP 関節、DIP 関節、MP 関節の順位に伸展を終了していることが確認できた。指の伸展運動順序に関しては、関連研究で、90%の割合で MP 関節、DIP 関節、PIP 関節もしくは MP 関節、PIP 関節、DIP 関節の順で伸展を開始し、48%の割合で DIP 関節、PIP 関節、MP 関節の順で伸展を終了することが述べられており、指の運動順序は MP 関節から伸展開始、終了するという規則性が示されている⁽⁵⁾。本実験と文献を比較すると、伸展開始順序については同様であったが、終了順序については異なった結果を示した。しかし、この終了順序に関しては、文献で示された規則性の通り MP 関節で伸展が終了したということとを考慮すると、今回の結果は妥当であると考えられる。

3. 伸展角度計測実験

3-1 実験目的及び方法

Fig.4 に示した示指用装置が指装着時にどの程度の伸展が可能であるかを計測するために実験を行った。方法としては、木製の手モデルの指先、DIP 関節(遠位指節関節)・PIP 関節(近位指節関節)・MP 関節(中手指節関節)・手関節の 5 点を想定した位置にマーカーを貼り付け、装置を装着し、指を伸展させたときの動画を撮影した。この動画をフォーム分析ソフトによって、各マーカー位置の X 座標と Y 座標を 0.1[s]毎のデータとして取得したのち、DIP 関節、PIP 関節、MP 関節の各関節角度を算出した。このとき、電圧 5[V]を印加した。

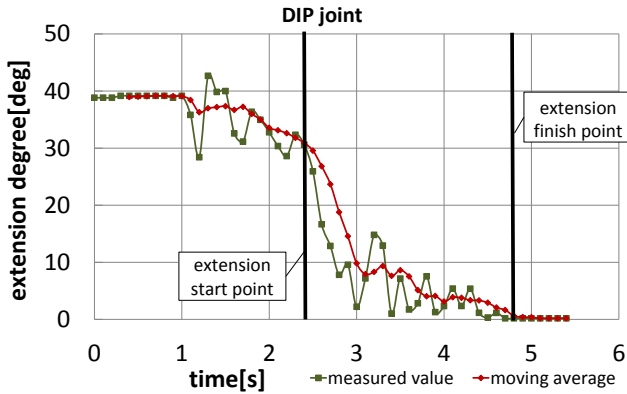


Fig. 5 result of the extension degree on DIP joint

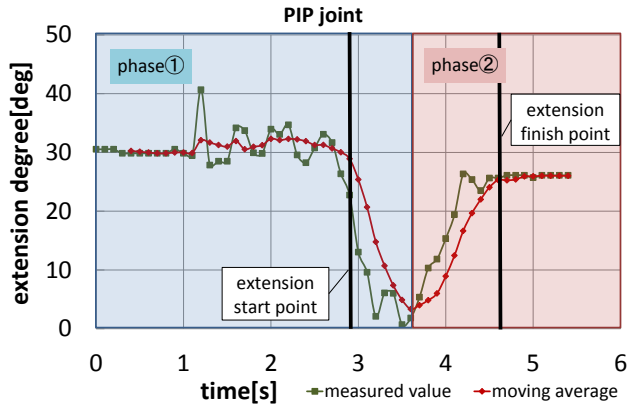


Fig. 6 result of the extension degree on PIP joint

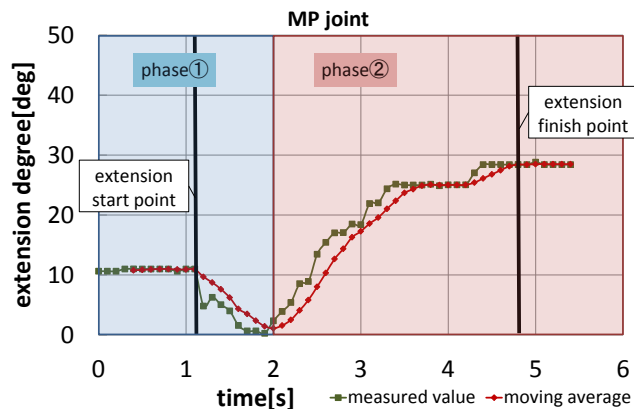


Fig. 7 result of the extension degree on MP joint

4. 力計測実験

4-1 実験目的及び方法

本装置で指装着時にどの程度の力で伸展可能であるかを計測するために実験を行った。方法としては、木製の手モデルに装置を装着し、指先におもりを吊り下げて、指の伸展を実施した。このとき、おもりは30~60[gf]まで10[gf]ずつ増加させ、定格電圧9[V]を印加した。印加終了は本装置の安全機構であるスナップピンが外れた位置とし、PIP関節が伸展0[deg]を達成した場合に伸展可能、未達成の場合に伸展不可と判定した。PIP関節の伸展角度の算出は3章と同様の方法で行った。おもり30[gf]から開始した理由は、関連研究で35[gf]のヒトの指モデルを使用していたためであり、本実験では木製の手モデルの重量を考慮せず、おもりの荷重のみで力を計測する⁽⁶⁾。また、今回は各関節における力をそれぞれ計測するのではなく、指先におもりを取り付け、指全体に加わる力を計測することとする。

4-2 実験結果及び考察

Table1に示したように、30[gf]、40[gf]では伸展0[deg]を達成できた。一方、50[gf]、60[gf]では重りの持ち上げ自体は可能であったが、伸展0[deg]を達成することができなかった。このことから、目標関節角度0[deg]まで伸展させるために、指全体に約0.4[N]の力を発揮可能であると確認できた。したがって、関連研究の35[gf]のヒトの指モデルで実施された評価実験と同様に、一般的な重量の指においては伸展が可能であると考えられる。今回は指全体に加わる力を計測したが、今後は各関節に加わる力を個々に計測し、この力が拘縮予防のための指伸展において妥当であるかどうかを検証する必要がある。しかし、現在、拘縮予防に関してどの程度の力を指関節に加えるべきかという指標がないため、今後、理学療法士の徒手力を計測し、結果の比較を行う必要がある。

5. 結論

示指に装着する装置及びグローブを設計・試作した。本装置では小型モータという1つのアクチュエータのみで指の各関節を伸展させるために、カム機構・リンク機構を用い、理学療法士のように手の内側からの伸展が可能となった。伸展角度評価実験では、指の各3関節において伸展が可能であると確認できた。また、伸展動作順序においても、文献と同様の結果となった。さらに、力計測実験では、伸展時に約0.4[N]の力が発揮可能であると確認できた。しかし、各実験においてそれぞれ課題点があったため、それらを改善し、示指用装置の完成、及び5指全体の装置開発に取り組んでいきたいと考えている。また、拘縮の予防装置開発の問題として、伸展に必要な力・速さの指標が書かれた文献がないことから、今後は理学療法士の協力のもと、実際の徒手訓練時の伸展角度及び印加力を計測し、装置開発の指標を作成する予定である。

Table 1 result of weight lifting

weight[g]	30	40	50	60
extention	○	○	×	×
achieved/not achieved	○	○	×	×

参考文献

- (1) 内閣府,高齢社会白書,平成26年版
[http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2014/zenbun/pdf/1s1s_1.pdf\(2015/7/1\)](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2014/zenbun/pdf/1s1s_1.pdf(2015/7/1))
- (2) 上田敏,「Clinical Nursing Guide17 リハビリテーション」,メディカ出版,pp.16-22,1999
- (3) 公益社団法人日本理学療法士協会,
[http://www.japanpt.or.jp/aboutpt/physicaltherapist/\(2015/7/1\)](http://www.japanpt.or.jp/aboutpt/physicaltherapist/(2015/7/1))
- (4) 岩田季恵,装着型生活支援装置の開発,芝浦工業大学大学院修士論文,2007年度
- (5) 市川亮,物体の把握・操作時における指関節の動きのモデル化,和歌山大学学士論文,2002年度
- (6) Jones, Christopher L., et al. "Design and development of the cable actuated finger exoskeleton for hand rehabilitation following stroke." *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on* 19.1, pp.131-140, 2014