

湾曲型空圧アクチュエータを利用した手指伸展動作支援装置の制御法

Control of Contracture Prevention Device using Pneumatic Actuator of Curving Type

○ 宮川豊美（愛知工科大）

Toyomi MIYAGAWA, Aichi University of Technology

Abstract: There is a possibility that when stroke happens, motor dysfunction occurs. Finger paralysis is one of the symptoms of the motor dysfunction. If paralysis is left untreated, muscle contracture will develop. Therefore, it is necessary to exercise the muscles around the joints of the paralyzed limb portion on daily basis. In this paper, we consider a finger contracture prevention device using delicate pneumatic actuator. We have developed a device which operates using two actuators that push fingers out from the palm side. The size of the device is 106mm × 100mm × 42mm. Force generated by the device could be obtained 6N.

Key Words: pneumatic actuator, wearable system, mechatronics, prevention, medical and welfare assistance

1. 緒言

近年の高齢者増加に伴い、脳卒中による運動機能障害をもつ患者が年々増加している。手指の運動障害は自立した生活を妨げる因子となることから機能を回復させるリハビリテーションの重要性は年々増してきている。しかし、患者数に対して看護師や療法士の人数が不足しており、リハビリテーションを受ける時間は限られており、満足な治療を行うことができなく、訓練支援装置の省力化が期待されている。この省力化には、装置の装着が簡便で、装着者の意志に基づいて動作することが望まれ、装着者に動作を教示可能なインターフェースが必要とされている。従来の手指リハビリテーション支援装置では、手の甲側から手指を固定して自動で手指の伸展と屈曲が可能な装置⁽¹⁾やモータとリンク機構を組み合わせて手指の伸展・屈曲が可能な装置⁽²⁾がある。一方、装着する機器は機構的安全確保が求められることから柔軟アクチュエータの研究が各所で行われている。特に構造が柔軟で軽量である空圧ゴムアクチュエータ⁽³⁾を適用した機器が多く提案されている⁽⁴⁾。しかし、これまでの装置には、装置が大型のために寝たきり状態の患者には使用できない、装置の構成が複雑で患者一人での装着が困難である、等の課題があった。

筆者らは、親和性が高い機構およびシンプルな構成で手指の伸展を支援装置の開発にあたり、繊維強化ゴムからなる2自由度の湾曲型空圧アクチュエータを用いた装置の検討を行っている⁽⁵⁾。本研究では、湾曲型空圧ゴムアクチュエータを用いた手指伸展支援装置の制御法および試作機を用いた評価試験の結果について報告する。

2. 手指伸展支援装置の試作

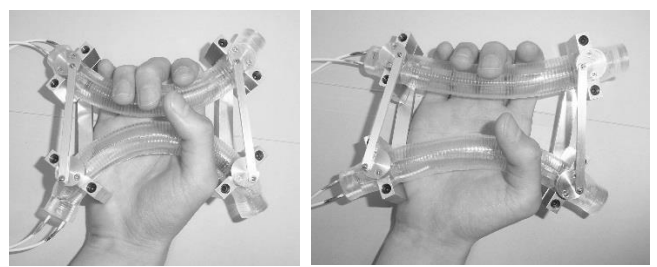
試作した手指伸展支援装置の外観を図1に示す。湾曲する空圧ゴムアクチュエータを2本使用して手のひら側から手指を伸展させる装置とした。2本の湾曲型空圧アクチュエータの両端を互いにリンクとジョイントで連結させている。アクチュエータの中央部が狭くなるように加圧し、その状態で患者に装着してもらう。次にアクチュエータの中央部が広くなるように加圧して、アクチュエータの湾曲により発生する力で手のひら側から手指を押し広げ、手指の伸展運動を実現させる。そして、アクチュエータを最初の状態に戻す動きをさせて、手指の屈曲を促す動作を可能にする。図1(a)が屈曲動作で図1(b)が伸展動作である。

図2に装置に用いた湾曲型空圧ゴムアクチュエータの構造と断面形状を示す。空圧ゴムアクチュエータは内部に半円形の圧力室を2つ有する繊維強化ゴムアクチュエータか

らできている。チューブの外壁の周囲方向には強化繊維が密に埋め込まれており、この繊維によりアクチュエータの外壁の膨張が拘束され、軸方向のみに伸長する性質をもつ。そして、アクチュエータには2つの圧力室の境となる隔壁が設けられている。この隔壁は外壁の厚さよりも厚く構成することで外壁の伸長と比べて伸び量は小さくとなると考えられる。そのために、この中心部の隔壁が加圧した圧力室の内側になるようにアクチュエータは湾曲する。エアチューブを通じて各圧力室の圧力を制御することでアクチュエータはy軸方向に湾曲する。

今回試作した装置のサイズは、縦100[mm]、幅106[mm]、厚さ42[mm]であり、重量は約180[g]である。2本の空圧アクチュエータ間隔は70[mm]とした。装置のサイズは産業技術総合研究所が公開している「日本人の手の寸法データ」を参考にした。装置の幅は手幅の平均値を、装置長さhの最大値は、第1指と第2指の指股から第2指先端までの長さの平均値を参考にして、装置およびアクチュエータの長さを決定した。

装置の伸展動作の発生力を実験で確認した。2つのアクチュエータを図1(a)の状態から、アクチュエータの軸心と垂直方向に外力Fを加える。アクチュエータの弾性変形に伴



(a) Flexion mode (b) Extension mode

Fig.1 Photograph of drive

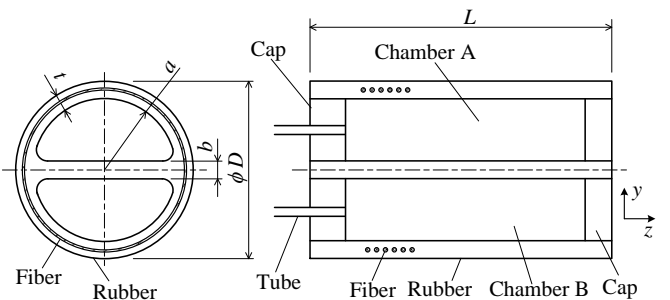


Fig.2 Cross-sectional view of pneumatic bending actuator

い装置長さ h が変化するのでその長さを写真撮影し，外力 F と装置長さ h の関係を測定した．この実験の外力 F はバネばかりでそれぞれのアクチュエータ中央部をアクチュエータの軸心と垂直方向に引張り，その時の引張力の平均値を外力 F とした．圧力室 B を $0.3[\text{MPa}]$ で加圧した場合の結果が図 3 である．外力 F は装置長さ h が約 $90[\text{mm}]$ のときに最大となり， $6[\text{N}]$ であった．本アクチュエータは断面形状が対称であることから，圧力室 A を $0.3[\text{MPa}]$ で加圧した場合においても同様の結果が得られる．よって，この実験結果から本装置の伸展動作の最大発生力は装置長さ h が $90[\text{mm}]$ の状態で，その時の発生力は $6[\text{N}]$ となる．

3. 装置のシステム構成

装置のシステム構成図を図 4 に示す．2 つの空圧ゴムアクチュエータの各圧力室は電磁弁と接続して，供給圧の on-off とそのタイミングの制御を行う構成となっている．電磁弁は圧力調節器を介して空気圧縮機と接続されている．電磁弁の制御は制御回路，I/O ボードを介してパソコンで行う．製作したコントローラは圧縮ガスが充填されたハンディタイプのガス源と専用の圧力調節器を取り付けることでノートパソコンと同サイズとなり，持ち運び可能なサイズとなる．バルブ 1 が on の時が伸展動作，バルブ 2 が on の時が屈曲動作となるように，アクチュエータが配置されている．無負荷時の屈曲動作時の装置長さ h は $60[\text{mm}]$ ，伸展動作時の h は $110[\text{mm}]$ である．

4. 試作評価

試作した装置の基本特性と操作性を調べるために，健常者 5 名に装置を使用してアンケートをとり，その結果から装置の評価を行った．アンケートは，①装着の簡便性，②不快な振動や音の発生，接触の有無，③装置のサイズ，④装置の動作範囲，⑤伸展・屈曲の時間，⑥手指伸展時の発生力，の 6 つの項目に使用者が評価を付ける方法とした．評価項目に対し問題なしの場合，違和感がある場合，効果なし又は不快感を抱く場合，の 3 段階評価とした．

実験は，手のひらを上にして手指を脱力させて，その上から装置を装着する．供給圧を $0.3[\text{MPa}]$ に設定し，伸展動作と屈曲動作が交互に繰り返して行わせた．動作が移行するタイミングは使用者が違和感を抱かないタイミングで行った．今回は図 5 に示すように，まず屈曲動作を 3 秒後に伸展動作を 7 秒間，屈曲動作を 4 秒間とし，それを約 62 秒間繰り返す設定で行った．評価実験のアンケート結果，装置の簡便性が高い，不快な振動や音はない，という意見が多くあった．伸展・屈曲動作では，動作範囲，動作時間ともに違和感はなく，手指の伸展は可能であることが確認できた．動作範囲と発生力に関して，図 1(b) に示す状態がほぼ最大発生力の状態であり，第 3 と第 4 指の PIP 関節の伸展は不十分であるが他の関節は伸展して，伸展動作を繰り返し行うことが可能である．

5. 結 言

本研究では，手指の拘縮予防を目的とし手のひら側から手指を伸展させる装置を試作し，評価実験を行った．アクチュエータ 2 本を平行に配置し，その両端を回転ジョイントで連結させた装置は，装着が容易なシンプルな機構であるとともに，第 2～第 5 指の MP および PIP 関節を同時に伸展させる動作が可能であり，手指伸展支援装置としての基本特性を示した．また，供給圧の on-off とそのタイミングを制御することで操作に違和感がないことを確認した．

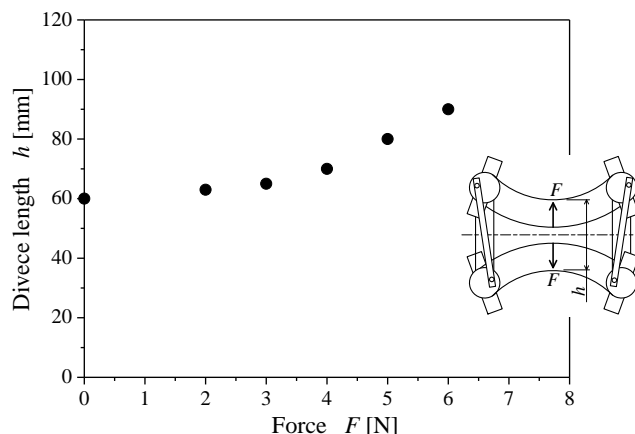


Fig.3 Relations between device length and force of the actuators

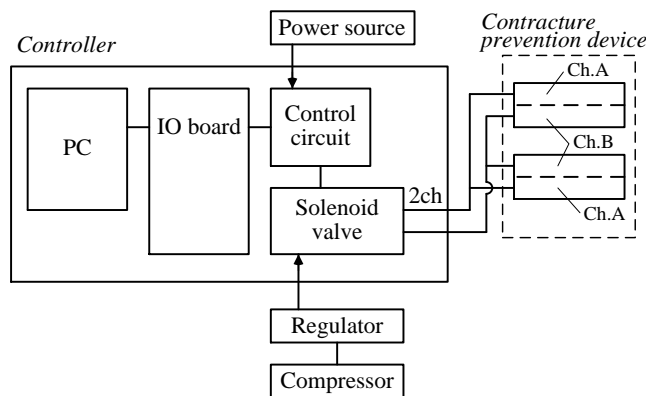


Fig.4 Configuration of device control system

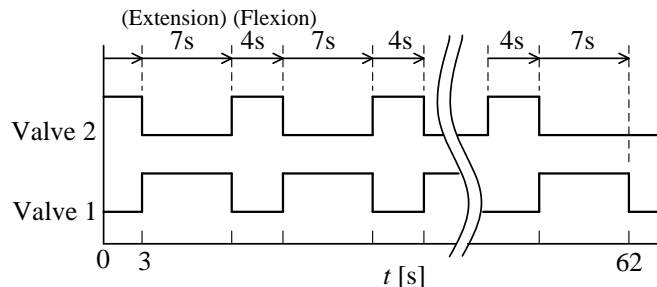


Fig.5 Operation mode of experiment

参考文献

- (1) ハンドアンドリスト CPM-0050, 酒井医療機器カタログ, 2009.
- (2) 川崎晴久他, 手指リハビリテーション支援システムの開発 (第1報, 概念と1例試験報告), 機論C編, vol.72-720, pp.228-233, 2006.
- (3) 鈴森康一他, フレキシブルマイクロアクチュエータに関する研究 (第1報, 3自由度アクチュエータの静特性), 機論C編, vol.55-518, pp.2547-2552, 1989.
- (4) 佐々木大輔他, 空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストグローブの開発, 日本ロボット学会誌, vol.24-4, pp.640-646, 2006.
- (5) 宮川豊美他, 湾曲型空圧ゴムアクチュエータを用いた手指拘縮予防支援装置の開発, 日本設計工学会誌, vol.51-5, pp.344-356, 2016.