ゴム光ファイバによる微弱握力センサの開発[†]

鳥羽 栄 治*・降 旗 一 郎*
内 藤 光 雄*・横 関 徳 二**

Development of Feeble Grasping Power Sensor Based on Rubber Optical Fiber

Eiji TOBA*, Ichiro FURIHATA*,
Mituo NAITO* and Tokuji YOKOZEKI**

A new type sensor for measuring an extremely feeble grasping power by using rubber optical fiber has been developed which can measure human grasping power. In addition, we examined the possibilities to measure the patient's grasping power by a hand dynamometer.

The optical intensity of rubber optical fiber was linearly related to the applied force. The sensitivity was 5.38 mV/kg and 0.56 mV/kg in the range from 0 to 0.50 kg and above 0.50 kg, respectively.

Key Words: rubber optical fiber, feeble grasping power, clinical examination, transmission light

1. はじめに

今日、臨床医では随意運動が思うようにできない脳梗塞患者や中枢性麻痺患者などの手指運動機能障害を回復させるために、種々の工夫されたりハビリテーション¹⁾が行われている。通常、臨床医ではどのようなリハビリテーションを行ったかによって、どの程度の手指運動機能が回復したかの因果関係を知るための手法として、手指の筋力や握力の定性的測定をし、客観的評価をしている。

握力は一般に手を握る動作の最大努力で発現される筋力と考えられており、握力と筋力の間には非常に高い相関関係が認められている。現在、筋力の定性的測定法として、たとえば手指の筋の収縮が全く認められないものを0パーセント、正常者を100パーセントとし、この間を6段階に分けて筋力を評価する“徒手筋力テスト法”²⁾や新聞紙を親指と人指し指の間にはさんで引き抜くことができるか否か、手ぬぐいがしぼれるか否かなどの“日常生活動作”におきかえた手法などが考えられている。また、握力の測定法として“スメドレー方式”と“コラン方式”³⁾が考えられている。しかし、これらの測定法で

は随意運動が思うようにできない患者の微弱握力(特に500 g以下)の定量的測定が不可能に近い状態である。したがって、微弱握力の定量的測定法の開発が望まれている。そこで、本研究はゴム光ファイバを用い、これに圧力印加時の形態変化による光伝搬特性の光量変化を利用した定量的な微弱握力センサの開発^{3)~6)}を試み、この光学的諸特性を明らかにすると共に、臨床検査への応用の可能性について検討を加えた。

2. ゴム光ファイバの外力と光透過率

ゴム光ファイバは、屈折率がわずかに異なるコア部分(屈折率:1.51, 直径:0.64 mm)とクラッド部分(屈折率:1.41, 直径1.54 mm)の高透明シリコンゴム((株)ブリヂストン製OS 101型)で構成されており、クラッド部分の外周にフッ素系ゴムで黒色の被覆を施したステップインディクス形光伝送路(直径:約3 mm)である。

ゴム光ファイバは、オールゴム製の柔構造であるので屈曲性、伸長性、柔軟性および耐久性などにも富んでおり、この光伝送損失は波長が0.66 μm のとき約0.85 dB/mである。また、ゴム光ファイバは弾性を有するため外力に対して変形しやすく、加圧などに対して伝搬光量の光量変化が生じやすいなどの特長^{5)~6)}をもっている。

Fig. 1にゴム光ファイバに押圧の外力を印加した場合の光透過率測定系の概要を示す。LED光源の光(波長 $\lambda = 0.66 \mu\text{m}$)をレンズを介してゴム光ファイバに入射させ、ファイバの中央部分にプラスチック製平板で押圧の外力を印加し、この光透過光量を光ディジタル電圧計で測定する。**Fig. 2**にゴム光ファイバの微弱握力センサへ

[†] 第31回計測自動制御学会学術講演会(1992・7), 第32回計測自動制御学会学術講演会(1993・8)で発表

* 信州大学繊維学部 上田市常田 3-15-1

** 花園病院 上田市中央西 1-15-25

* Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, Ueda

** Hanazono Hospital, Ueda

(Received April 14, 1994)

(Revised June 6, 1994)

Fig. 1 Schematic arrangement of experimental system for external force

Fig. 2 Relation between force and relative light transmittance

の応用を想定して、ゴム光ファイバの長さ約 14 cm に押圧用プラスチック平板の大きさを $10 \times 10 \times 1$ mm, $10 \times 15 \times 1$ mm, $10 \times 20 \times 1$ mm と押圧の印加幅を変化させて外力を印加した場合の外力と相対的光透過率を示す。ゴム光ファイバの相対的光透過率は外力の大きさと押圧板の印加幅に依存し、印加幅を狭くしたほうが、ゴム光ファイバに加わる単位長当たりの押圧が増大し、光透過率の変化の割合が大きくなることが判明した。

さらに、外力が比較的小さい領域 (0～約 0.50 kg) とそれ以上 (0.51 kg 以上) の領域の二つに分けて、これらの外力と光透過率の関係に着目すると、両者の関係はほぼ直線的比例関係が成立している。したがって、ゴム光ファイバの外力として押圧に対する相対的光透過率を求めることにより押圧の大きさを知ることが可能である。

ゴム光ファイバをセンサとして使用する場合、温度依存性については大気温度が約 $15 \sim 50^\circ\text{C}$ で光透過率が不変であることが判明した。

また、ゴム光ファイバを伸長させた場合、伸びと共に伝送光量が減少し、ゴム光ファイバの伸度を約 80% 以上にするとゴム光ファイバのコア部分が破損し、光伝送路としての機能を失う恐れがある。しかし、ゴム光ファイバの許容伸度 (80%) 以内であれば、ゴム光ファイバの伸度に対する伝送光量を測定することにより、伸度センサとしての応用も考えられる。

Fig. 3 Configuration of feeble grasping power sensor

3. 微弱握力センサと臨床測定

ゴム光ファイバに押圧の外力を印加すると、外力が比較的小さい範囲 (約 500 g 以下) では外力と相対的光透過率はほぼ直線的比例関係が成立していることに着目し、現在握力計として使用されているスレッドレー式握力計に類似させて試作した微弱握力センサの概要を Fig. 3 に示す。ゴム光ファイバの長さ約 14 cm とし、この両端に光源 (LED) と受光素子 (シリコンフォトセル) を結合して一体化したゴム光ファイバを外枠に固定し、これに内側の握手を引き上げることで、ゴム光ファイバに握力による押圧を常時同じ角度 (垂直) で加えることができるようになっている。

また、手の握り部分とゴム光ファイバの加圧部分 ($10 \times 10 \times 1$ mm のプラスチック平板ではさむ) は一体化されており、手の大きさにより握り部分は握りやすい位置になるように上下に調節できるようになっている。

なお、加圧部分のプラスチック平板の大きさは Fig. 2 に示したようにゴム光ファイバの相対的光透過率が、加圧板の印加幅にも依存しているので、微弱握力センサの測定感度と測定レンジとを考慮して加圧部分の印加幅を 10 mm とした。さらに、S/N 比を向上させるために、ゴ

Table 1 The measured value of the feeble grasping power sensor

Right-hand (affected side)	Grasping power (kg)
The thumb, The index finger	0.38
The thumb, The middle finger	0.34
The thumb, The medical finger	0.17
The thumb, The little finger	0.16
The thumb, The index finger, The middle finger	0.49
The thumb, The index finger, The middle finger, The medical finger	0.55
The whole fingers	0.60

ム光ファイバの長さはできる限り短く約 14 cm とした。

本センサの測定感度は押圧の外力が 0~約 0.50 kg で 5.38(mV/kg) と非常に高感度であり、押圧の外力が 0.51~約 1.80 kg で 0.56(mV/kg) である。測定誤差は押圧の外力が 0~約 50 kg で $\pm 5\%$ 以下であり、測定分解能は 20 g である。また、ヒステリシスがほとんど認められず再現性にも非常に優れていることが判明した。

Table 1 に微弱握力センサの臨床検査への応用として、脳梗塞、中枢性麻痺、慢性関節リウマチ変形性脊椎症、脳出血などの患者に適用し、これらの代表的測定例として脳梗塞後の右肩麻痺の 85 歳の女性患者で右手側(患側)の握力測定結果を示す。なお、被験者の握力の測定は最初の測定後しばらく時間をおいて 4~5 回繰り返し測定し、これらの平均値を示し、この握力の測定範囲は 0~約 1.80 kg である。**Table 1** で第 1 指は親指、第 2 指は人指し指と、ヒトの手指にそれぞれ対応している。ヒトの握力は主に第 1 指、第 2 指、第 3 指の 3 本の指が関与しており、非常に微弱な握力(500 g 以下)の定量的

測定が可能であることが判明した。たとえば、親指と人指し指を使った握力は 0.38 kg であり親指と小指を使った場合の握力では 0.16 kg と非常に微弱であることを示している。

4. あとがき

本稿では、ゴム光ファイバを利用したスメッドレー方式類似型の微弱握力センサを実現し、臨床検査への応用を試みた。本センサは高感度であり手指の随意運動が思うようにできない患者の定量的微弱握力(特に 500 g 以下)の測定が可能であり、手指のリハビリテーションを行う際に、その手法と手指運動機能の回復度合との因果関係を評価するために有効と考えられる。

最後に本研究の一部は笹川科学研究助成金の援助を受けて行われたものである。ゴム光ファイバの光学的特性についてご検討を頂いた(株)ブリヂストン研究開発の石原田稔さんに深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 金子, ほか: 系統看護学講座, 成人看護学 6, 医学書院, 418/426(1968)
- 2) 川島, ほか: 外科学実践的看護マニュアル, 看護の科学者, 58/61(1986)
- 3) 内藤, 鳥羽, ほか: ゴム光ファイバを利用した人間の握力と関節角度の測定, 第 31 回 SICE 学術講演会予稿集, 221/222(1992)
- 4) 鳥羽, 降旗, ほか: ゴム光ファイバを利用した人間の握力と関節角度の測定, 第 32 回 SICE 学術講演会予稿集, 783/784(1993)
- 5) 鳥羽栄治: ファイバオプティクスセンサのロボットへの応用, I. P. I., 8-3, 14/18 (1992)
- 6) (株)ブリヂストン, オーネスカタログ及び技術資料, (1989)