

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650047

研究課題名(和文) 気管挿管における技能教育のための触力覚提示装置の開発

研究課題名(英文) Development of haptic display for tracheal intubation training

研究代表者

葛岡 英明 (Hideaki, Kuzuoka)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：10241796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、技能教育における喉頭展開の仕方を学習者に指導するための、外装型触力覚提示装置(Outer-Covering Haptic Display, OCHD)と、それを用いた誘導手法の研究をおこなった。本研究によって開発した OCHD は、喉頭鏡を握る手の甲に触力覚を与え、学習者にその動かし方を誘導する装置である。これにより、学習者は喉頭鏡に力を加えて動かすことで、掌に喉頭鏡の正しい動作力を知覚することができる。従来のように、アクチュエータによって道具を直接駆動し、学習者の掌に動作フィードバックを知覚させる場合と比較して、 OCHD を用いた誘導手法によってより高い学習効果がえられることが示された。

研究成果の概要(英文)：A system that assist hand skill training for using a tool should be able to control a learner's hand motion with precision. It is especially difficult for Outer Covering Haptic Display (OCHD) because it does not directly control the tool's motion but simply applies shear force to the back side of a user's hand. In this study, we conducted an experiment to figure out the characteristic between the way shear force is applied to the learner's hand and the hand's motion that the learner is induced. The result shows the maximum value, increase rate, and duration of presenting shear force affects the learner's hand motion. Based on the results, we proposed an implication for hand motion control strategy for OCHD.

研究分野：バーチャルリアリティ

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：触力覚提示装置 技能教育 気管挿管 喉頭鏡

1. 研究開始当初の背景

気管挿管とは、喉頭鏡というL字型の器具を用いて呼吸困難の患者の口を開き、チューブを挿入して人工呼吸を可能にする医療行為である(図1)。この気管挿管教育では、喉頭鏡の操作方法の教示が難しいことが問題となっている。現状ではマネキンのシミュレータを利用した訓練が一般的であるが、さらに効果的な学習支援が望まれている。



図1 喉頭鏡(左)と気管挿管の様子(右)

これに対して、各種センサを組み込んだ高度なマネキンや喉頭鏡を開発し、喉頭鏡の操作スキルを評価する試みがある。しかし、これらの手法では喉頭鏡の動作を直接指導することはできない。バーチャルリアリティの分野では、道具利用における技能教育の方法として、道具を直接アクチュエータで駆動し、道具を握る学習者の手のひらに力を知覚させ、正しい動作に誘導する手法が複数提案されている。しかし、喉頭展開のように道具を強く握る場合には、その握力に比例して外力を感じにくくなるため、強い力で道具を駆動する必要があり、装置の大型化や、危険性の増大につながる。一方、國安らは装着型デバイスで皮膚を変形させることにより、装着者に擬似的な外力を感じさせられることを示した。

そこで申請者らは、あたかも指導者が学習者の手を外側から握って正しい動作に誘導するかのように、学習者の手の外側から触力覚を提示することによって、小さい駆動力で動作を誘導するための力を知覚させることを提案した。そして、予備的な装置を開発し、これを外装型触力覚提示装置(OCHD: Outer-Covering Haptic Display)と名付けた。そして実験によって、1軸方向の回転運動の知覚についてのみ、その効果を確認した。

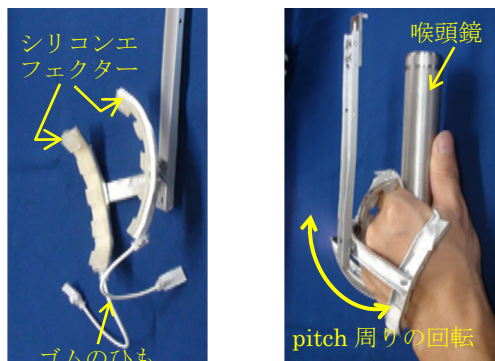


図2 OCHD(左)と手に装着した様子(右)

2. 研究の目的

研究当初の目的は、これまでに試作した装置を改良して、6自由度の動作を知覚させられるようにすることである。そして、マスタースレーブ方式によって、指導者が学習者の動作を適宜誘導できるようにしたり、学習者の動作をシステムが自動判定して、正しい動作に誘導したりできるようにする。次に、被験者実験によって、その効果を確認する。

3. 研究の方法

(1) 6自由度のOCHDを開発する前に、提案方式が動作学習に有効であることを確認するための実験を行なうこととした。

OCHDを利用した動作教示では、学習者の手を強制的に動かすのではなく、学習者が手の甲に感じた誘導力に従って、自主的に手を動かすことになる。このような自主的な動作学習は、強制的な動作学習と比較して効果が高いと期待される。そこで研究では、OCHDによる学習効果を検討する。

(2) 本手法の学習効果を確認するために、気管挿管における喉頭展開を模擬した動作を、3種類の条件(視覚条件、直接駆動条件、OCHD条件)でおこない、被験者が喉頭鏡を操作する際に加える力の誤差を比較する。各条件において、喉頭展開の動作学習に利用される場面を想定し、被験者は学習中に喉頭鏡やOCHDの動く様子を見ることができるようになる。

(3) 本実験を行うため、喉頭展開動作を測定できる新たな計測装置を製作した。まず、喉頭鏡の代わりに円筒で喉頭鏡モデルを製作した(図3)。そしてこの喉頭鏡モデルを、バネ(ばね定数2.5 N/mm)を介して6軸力センサ(ATI Mini40 FT09486、図3中のFT sensor)に接続し、喉頭鏡モデルに3つのマーカーを取り付けた。

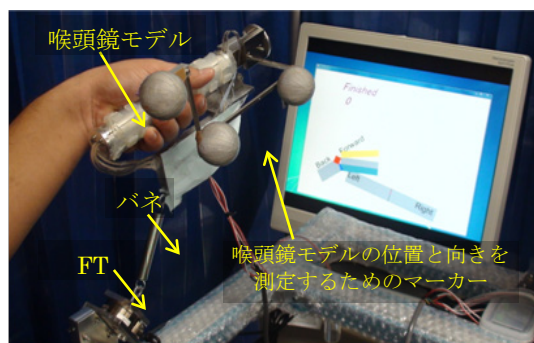


図3 視覚による誘導条件

①視覚誘導条件: 図4に示すように、被験者は喉頭鏡モデルを握り、モニタに表示されている視覚情報に従って、喉頭鏡モデルを動かす。

②直接駆動条件: 図5に示すように、喉頭鏡モデルの先端を、6自由度のマニピュレータによって駆動し、喉頭鏡モデルの向きと、かかる力が目標値になるように誘導する。マニ

ピュレータが喉頭鏡モデルを駆動する力は、6軸力センサ(ATI Mini40FT08735、図中の FT sensor 1) によって検出する。

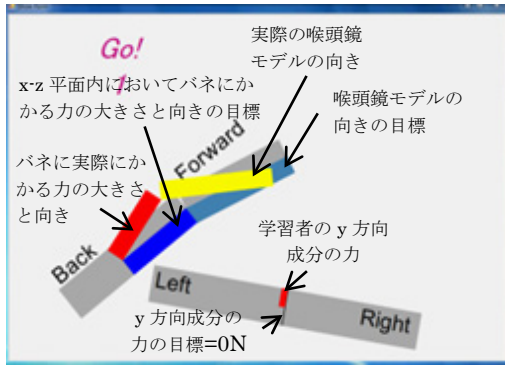


図4 視覚条件における画面表示

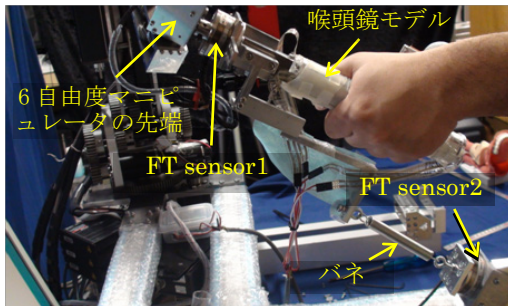


図5 直接駆動による誘導条件

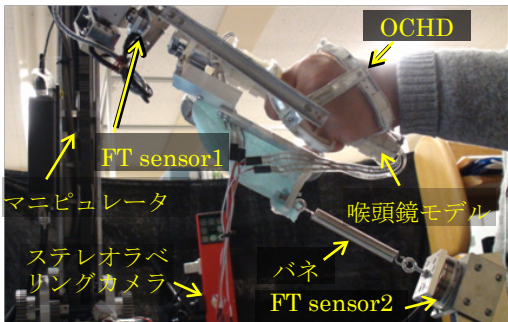


図6 OCHD条件

③OCHD条件: 図6に示すように、OCHDは6自由度マニピュレータによってコントロールされ、被験者が把持している喉頭鏡モデルの向き及びかかる力が目標値になるように、誘導する。マニピュレータがOCHDを駆動する力は、FT sensor 1によって検出する。

(4) 各条件において、まず、被験者を実験装置の前に立たせ、左手で喉頭鏡モデルを持たせた。そして、装置の提示がどのようなものであるか把握するため2回練習させた。実験タスクでは、操作を誘導した後、およそ2分間休憩させた。その後、被験者に喉頭鏡モデルを把持させ、誘導装置を取り外した状態で、学習した操作を再現させた(図7)。各被験者はすべての条件で学習タスクをおこなったが、3回の動作は異なるようにした。各誘導条件

と動作の組み合わせ、および誘導条件の順番はカウンタバランスをとった。

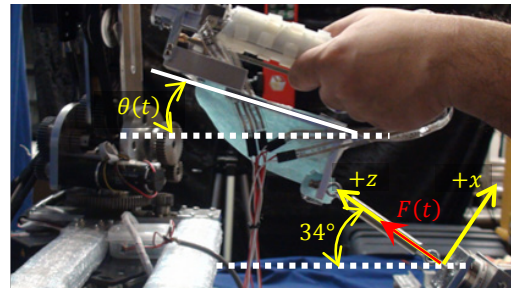


図7 実験における座標系

被験者は21歳~32歳の24名(男性18名、女性6名、全て右利き)であり、喉頭展開訓練は受けたことがなかった。

(5) 喉頭展開における操作に要する時間および喉頭鏡にかかる力の最大値は、それぞれおよそ10秒と38Nであり、子どもの患者の場合では21Nである。また、喉頭鏡の回転角度と角速度の平均値はそれぞれ34°/sと44°/sである。これらの知見に基づき、学習させる喉頭鏡の動作を以下のようにした。

$$F(t) = \begin{cases} f_n(1 - e^{-t}) & (0 \leq t \leq 10s) \\ 0 & (t > 10s) \end{cases} \dots \textcircled{1}$$

$$\omega(t) = \begin{cases} 34^\circ/s & (0 \leq t \leq 1s) \\ 0 & (t > 1s) \end{cases} \dots \textcircled{2}$$

$$\theta(t) = \begin{cases} \omega(t) \times t & (0 \leq t \leq 1s) \\ 34^\circ & (t > 1s) \end{cases} \dots \textcircled{3}$$

ここで、 $F(t)$ はz軸の正方向の力の大きさの目標値で、 $\theta(t)$ および $\omega(t)$ はハンドルの回転角度と回転速度の目標値である。 $n(=1, 2, 3)$ は3種類の誘導動作の種類を示し、 $f_1 = 21N, f_2 = 29.5N, f_3 = 38N$ (練習用 $f_0 = 10N$) である。各誘導動作の時間は10秒である。

(6) 学習中に被験者が喉頭鏡モデルに加えた力の大きさ(F_{sub})と、学習中または再現中に喉頭鏡モデルに加えた力と本来加えるべき力の誤差(F_e)は、動作時間に対する平均値として以下のような計算方式で求めた。

$$F_{sub} = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \sqrt{F_{sub,x}^2(t) + F_{sub,y}^2(t) + F_{sub,z}^2(t)} dt \dots \textcircled{4}$$

$$\begin{cases} F_{sub,x}(t) = F_{s1,x}(t) - F_{s2,x}(t) \\ F_{sub,y}(t) = F_{s1,y}(t) - F_{s2,y}(t) \\ F_{sub,z}(t) = F_{s1,z}(t) - F_{s2,z}(t) \end{cases} \dots \textcircled{5}$$

$$F_e = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \sqrt{F_{e,x}^2(t) + F_{e,y}^2(t) + F_{e,z1}^2(t) + F_{e,z2}^2(t)} dt \dots \textcircled{6}$$

$$\begin{cases} F_{e,x}(t) = F_{s2,x}(t) \\ F_{e,y}(t) = F_{s2,y}(t) \\ F_{e,z1}(t) = F(t) - F_{s2,z}(t) \times \cos(\theta_{sub}(t) - \theta(t)) \\ F_{e,z2}(t) = F_{s2,z}(t) \times \sin(\theta_{sub}(t) - \theta(t)) \end{cases} \dots \textcircled{7}$$

sub は被験者が喉頭鏡モデルに加えた力を示し、 e は目標値に対する誤差を示す。 $s1$ 、 $s2$ はそれぞれ力センサ FT sensor1 と FT sensor2 によって測定する力であることを示す。 τ は誘導動作の時間 (10 秒) である。実験結果に対する統計的検定は、 3×3 の繰り返しのない二元配置分散分析で行った。独立変数は学習条件 (OCHD 条件、視覚条件、直接駆動条件) と目標値 (f_1, f_2, f_3) とした。

4. 研究成果

(1) 学習時に被験者が喉頭鏡に加えた力の大きさを図 8 に示す。繰り返しのない二元配置分散分析の結果、学習条件の要因と目標値の要因に主効果がみられた (それぞれ、 $F(2, 72) = 55.40, p < .001$; $F(2, 72) = 17.41, p < .001$)。また、学習条件の要因と目標値の要因に交互作用が認められた ($F(4, 72) = 2.71, p = .038$)。目標値毎に Bonferroni の多重比較をした結果、OCHD 条件と直接駆動条件の間 ($f_1: p = .002$; $f_2: p = .002$; $f_3: p < .001$)、及び視覚条件と直接駆動条件の間 (各目標値間において $p < .001$) に有意差がみられたが、OCHD 条件と視覚条件の間に有意差は認められなかった。

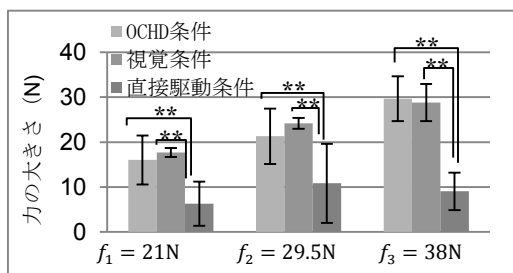


図 8 学習時の F_{sub} (**: $p < .01$)

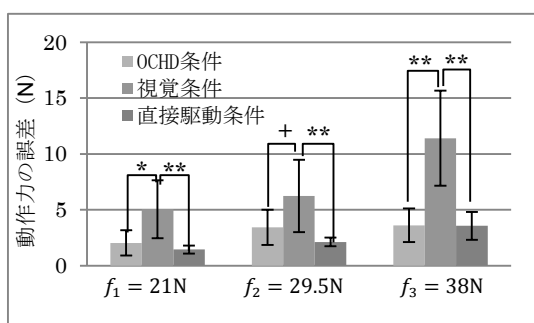


図 9 学習時の F_e (+: $p = .05$; *: $p < .05$; **: $p < .01$)

(2) 学習時の力の誤差を図 9 に示す。繰り返しのない二元配置分散分析の結果、学習条件の要因と目標値の要因に主効果がみられた (それぞれ $F(2, 72) = 34.98, p < .001$; $F(2, 72) = 12.78, p < .001$)。また、学習条件と目標値の要因に交互作用が認められた ($F(4, 72) = 3.32, p = .016$)。目標値ごとに Bonferroni の多重比較の結果、OCHD 手法と視覚による誘導手法の間 ($f_1=21N, p=.04$; $f_2=29.5N, p=.05$; $f_3=38N, p<.001$) に、及び、

視覚による誘導手法と直接駆動による誘導手法の間 ($f_1=21N, p=.009$; $f_2=29.5N, p=.002$; $f_3=38N, p<.001$) に有意差がみられたが、各動作方式において OCHD 手法と視覚による誘導手法の間に有意差が認められなかった。

(3) 学習者が動作を再現したときの力の誤差を図 10 に示す。繰り返しのない二元配置分散分析の結果、学習条件の要因と目標値の要因に主効果がみられたが (それぞれ $F(2, 72) = 15.87, p<.001$; $F(2, 72) = 25.15, p < .001$)、それぞれの要因間に交互作用はみられなかった ($F(4, 72) = 1.07, p = .379$)。Turkey HSD の多重比較の結果、OCHD 条件と視覚条件の間、視覚条件と直接駆動条件の間、および OCHD 条件と直接駆動条件の間に有意差が認められた (それぞれ $p = 0.48, p = 0.006, p = 0.001$)。また、目標値については、 f_1 と f_2 の間に有意傾向 ($p = .06$)、 f_1 と f_3 の間、および f_2 と f_3 の間に有意差がみられた (それぞれ $p < .001, p < .001$)。

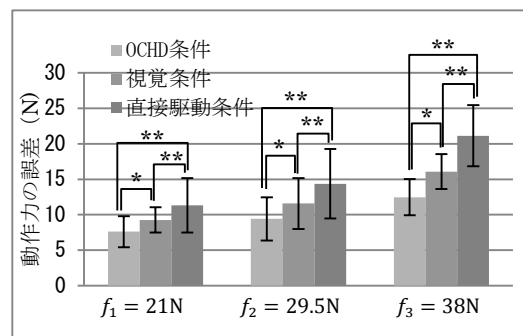


図 10 再現時の F_e (*: $p < .05$; **: $p < .01$)

(4) (1)の結果から、OCHD 条件または視覚条件で学習する場合は、被験者はほぼ自らの力で喉頭鏡を操作させていたことがわかる。これに対して直接駆動条件の場合は、大部分の力がマニピュレータによって出されていたことがわかる。直接駆動方式の場合も OCHD 方式の場合も、マニピュレータの制御アルゴリズムは同じであったが、OCHD 方式の場合は、マニピュレータによる力を感じやすいため、被験者が自ら力を出すこととなり、それに応じてマニピュレータが出す力も減少したと考えられる。これに対して直接駆動条件の場合は、喉頭鏡モデルを握る掌では、マニピュレータが喉頭鏡モデルに加えている力を知覚しづらく、そのために、被験者が喉頭鏡にあまり力を加えなかったと考えられる。

(2)によって、視覚条件では、学習中の誤差が他の条件よりも大きいことがわかる。直接駆動条件の場合は、誤差をなくすようにマニピュレータが喉頭鏡モデルに力を直接加えるため、他の条件と比較して誤差が小さくなるのは必然的である。これに対して OCHD 条件において、視覚条件より有意に誤差が小さく、直接駆動条件と差が見られなかったことは興味深い。一方、視覚条件の場合は、喉頭鏡に加えた力の大きさが目標値に近いにもかかわらず

ず、誤差が大きかった。これは、 F_{sub} の計算には力の方向とハンドルの角度を考慮していなかったが、 F_e の計算には力の方向と角度の誤差が考慮されていることに起因すると考えられる。

(3)の結果から、操作を思い出して再現する場合に、OCHD条件では他の2つの条件よりも有意に小さい誤差で喉頭鏡を操作していたことがわかる。直接駆動条件では、学習中にマニピュレータが被験者の力をOCHD条件よりも大きく補助してしまうことになるため、被験者は喉頭鏡を操作するのに必要な力の大きさを正しく学習できなかつたと考えられる。一方OCHD条件の場合は、自主的に喉頭鏡モデルに力を加えることになったため、正しい力の大きさを効果的に学習できたと考えられる。

(5)本研究では、喉頭展開のような強い力を必要とする技能教育に対して、学習者に操作を正しく学習させる手法として、OCHDを提案した。実験の結果、OCHDを利用することで、被験者が誘導されている動作に対して、自主的かつ正確に力を出すことが可能となり、その結果、道具を直接駆動する手法や、視覚情報によってフィードバックする手法よりも正確に学習できることがわかった。

今後は腕に全ての感覚提示機構を装着することのできるウェアラブルOCHDを開発することによって、より実用性の高いシステムを実現することを目指す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① ヤェム ヴィボル、葛岡 英明、山下 直美、太田 祥一、竹内 保男、外装型触力覚提示装置を用いた技能教育手法に関する研究、バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌、査読有、Vol. 15、No. 2、2013、pp.11-20、
http://ci.nii.ac.jp/els/110009661497.pdf?id=ART0010137538&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1400764194&cp=

〔学会発表〕(計2件)

- ① YEM VIBOL、葛岡英明、山下直美、太田祥一、竹内 保男、外装型触力覚提示装置を用いた技能教育手法、第16回日本バーチャルリアリティ学会大会、2013年9月20日、大阪
- ② Vibol Yem, Hideaki Kuzuoka, Naomi Yamashita, Ryota Shibusawa, Hiroaki Yano, and Jun Yamashita, Assisting hand skill transfer of tracheal intubation using outer-covering haptic display, CHI' 12, 10 May 2012, Austin, USA

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.groupiab.esys.tsukuba.ac.jp/projects/ochd/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

葛岡 英明 (KUZUOKA, Hideaki)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号：10241796

(2) 研究分担者

山下 淳 (YAMASHITA, Jun)
筑波大学・システム情報系・講師
研究者番号：80345157