切り絵の裁断スキルの向上を目的とする なぞり描き練習システムによる筆圧制御の効果

東 孝文^{1,a)} 金井 秀明^{1,b)}

受付日 2018年2月1日, 採録日 2018年9月7日

概要:本稿では、タブレット端末とスタイラスを利用した、切り絵創作時の筆圧制御のためのなぞり描き練習を支援するシステムについて述べる。この研究の目的は、初心者を対象とした切り絵制作時に重要とされる筆圧の制御に対する効果的な練習である。初心者は必要以上に強く不安定な筆圧で紙を裁断する傾向にある。そのため、いくつかの切り絵のワークショップを行う講師は、鉛筆を使ったなぞり描きを通じて、初心者へ筆圧を制御する練習を指導している。我々はスタイラスとタブレット端末による、なぞり描きの練習を支援するシステムを開発した。このシステムは利用者がなぞり描きをするとき、あらかじめ計測した熟練者の筆圧との差を色と音で提示することで、熟練者らしい筆圧の状態維持を促す練習を提供する。我々はシステムとその機能の有効性について比較する実験を行った。その結果、初心者がシステムの機能とともに練習することで、既存の練習法よりも筆圧とばらつきの範囲が縮小した。我々はシステムによって初心者の筆圧制御の裁断スキルが向上したことを確認した。

キーワード:タブレット端末、スタイラス、なぞり描き、裁断、練習支援

Tracing Practice System for Paper-cutting Skills

Takafumi Higashi^{1,a)} Hideaki Kanai^{1,b)}

Received: February 1, 2018, Accepted: September 7, 2018

Abstract: In this paper, we present a system for practicing a tracing action with sufficient pressure using a tablet device and a stylus. The goal of this study is to improve the ability of novices for the appropriate pressure in paper-cutting by practicing tracing action using our system. The novices can train themselves to trace a pattern with a pen through repeated action using our system, and the system displays the pressure applied by the user in real time. The system has a function that aids the novice in applying the correct pressure with the stylus based on the value of pressure used by experts. Experiments were also conducted to determine the effectiveness of the proposed system. It was confirmed that the novices were able to develop the desired paper-cutting skill on using the proposed system.

Keywords: tablet device, stylus, tracing, cutting, supporting practice

1. はじめに

近年,集中力の向上やリラックス効果などの点から,モノ作り分野の1つであるクラフトアートが国内外の幅広い世代から注目されている.しかし,クラフトアートの創作は手先の器用さといった様々な運動スキルが必要とされ

ている [1], [2]. また, 創作活動では失敗や, やり直しのできない行程を多く含むため, 事前に練習を行うことは重要である. 本研究では, 我々はクラフトアートの1つである切り絵に焦点を当てる. 我々は切り絵の創作活動の支援の1つとして裁断スキルの練習効果の向上を支援する.

切り絵はナイフで紙を切ることにより絵を表現する絵画技法の1つである(図 1(A)). 切られた紙は復元することができないため、ナイフを使った裁断の練習は重要である. いくつかの切り絵のワークショップの講師は初心者向けの練習として鉛筆を用いた、なぞり描き練習を取り入れてい

¹ 北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 Japan Advanced Institute of Science and Technology, Nomi, Ishikawa 923–1292, Japan

a) htakafumi@acm.org

b) hideaki@acm.org



図 1 切り絵は紙をナイフで切る絵画手法である (A). 我々のシステムでは、タブレット端末に表示された絵をスタイラスでなぞり描きする (B)

Fig. 1 Cutting paper is an art of cutting paper with a utility knife (A). The user traces the tablet device with a stylus (B).

る.この練習法は強すぎる筆圧では鉛筆の芯が欠けるという特徴から、初心者は芯が欠けない程度に筆圧を制御することを目的としている。また、切り絵をしたことがない初心者はナイフで指を切るなど怪我をしやすいため、安全面から裁断ではなくなぞり描きによる練習を採用している。我々のシステムは既存の鉛筆による練習法と同様に初心者の安全面に沿ったナイフではなくスタイラスを利用し、鉛筆の芯の強度の代わりに熟練者の筆圧との差をタブレット端末から表示することで、利用者の筆圧を制御する裁断スキルの向上を目指す(図 1 (B)).

これまでに、我々は裁断動作を計測することで切り絵の 創作に関する支援を調査している。タブレット端末とスタ イラスで構成するシステムにより、一定の筆圧の維持を 促すシステムを開発することで裁断動作への支援を行っ た[5],[6].また、スタイラスの先端にナイフを取り付ける ことで、裁断時の筆圧の計測を行っている[7].これらよ り、我々は初心者への技術習得の支援を目指している。

本稿では、我々は初心者が筆圧を制御するための練習を支援するシステムとその効果について述べる。2章では関連研究について述べる。3章では初心者と熟練者との鉛筆によるなぞり描きとナイフによる裁断との筆圧の差について述べる。4章では熟練者の筆圧をもとにした筆圧提示機能を持つなぞり描き練習システムについて述べる。5章ではシステムによる初心者への効果について検証した実験について述べ、6章では本稿をまとめる。

2. 関連研究

創作スキルを向上させる方法の1つに熟練者の動きの観察と模倣がある。多くの初心者は見本となる動きを観察し、その動きにあわせて反復することでスキルを習得する[1].しかし、微細な動きや目に見えない情報など、観察による練習には限界がある。この問題に対し、多くの研究者たちはコンピュータを利用することで動きの計測や表現を可視化し、多種多様な模倣により創作の練習や支援を行っている[2].これまでにもデッサンや習字を利用した筆圧を支

援する研究がある [8], [9]. これらの研究ではスタイラスを改良することで座標や筆圧を計測し、利用者の創作活動への支援を行っている。同様に、文献 [10] や [11] はデッサンの練習の支援を行うシステムであり、見本と利用者が描いた絵の特徴情報を比較することで修正や改善を促す。これらの研究では、入力された絵の位置関係や描いた線の座標などの情報をもとに計測している。

そのほかにも、初心者と熟練者が行う同じ動きを計測し、 その差から初心者への指示を出すことで動きの改善を促す 研究がある。文献 [12] は焼き物工芸の造形に対して、カメ ラから認識した熟練者と製作者の腕の動きを比較すること で、プロジェクタを通じて利用者の手元に指示を表示する。 また、文献 [13] では、カメラで利用者の体全体を認識し、 熟練者の動きを利用者の体型で再構成した映像をスクリーンに表示することで、ダンスの振り付けの支援を行う。これらの研究は手本となるモノや動きとの比較を行うこと で、利用者へリアルタイムに適切な指示を提供する。我々のシステムでは筆圧の情報を作家や講師などの熟練者の筆 圧をもとに、リアルタイムで利用者との筆圧と比較することで筆圧を制御するスキルの練習支援を行う。

これまでにプロジェクタ, モニタやタブレット端末など 描画面上にガイダンスを表示することで支援するシステム が多くある. 文献 [14] のシステムは、プロジェクタで紙に 裁断する線を投影することで、切り絵の創作支援を行う. また、文献[15]は、紙に投影をした像に沿って利用者が線 をなぞることでペン画を支援する. 文献 [16] は、彫刻作業 を支援するためのシステムで, 立体物の彫る必要のある領 域を投影して示す. 文献 [17] は、利用者が装着するヘッ ドマウントディスプレイ内に表示することで視覚的効果 によってなぞり描きの精度を向上させる. そのほかに, 文 献 [18] はタブレット端末上で図面をデータベースと照合 することでなぞり描きの修正を行う. これらのアプローチ により初心者でも熟練者らしい創作を行うことを目指す. 我々は利用者が加えた筆圧と熟練者との差をタブレット端 末から色と音で提示することで、初心者でも熟練者らしい 筆圧で切り絵を行うことを支援する.

3. 初心者と熟練者との筆圧の差

この章では、初心者と熟練者との筆圧の差とその影響について述べる。我々は初心者と熟練者とのなぞり描きと裁断動作時の筆圧を計測した。この調査の目的は既存の練習法であるなぞり描きと裁断時の筆圧を比較することである。また、初心者と熟練者との筆圧の差から熟練者らしい筆圧の強さとばらつきを計測する。

3.1 計測の手順

これまでに切り絵をしたことがない初心者 5 名 (22 から 25 歳) と,切り絵作家 5 名 (23 から 31 歳) を実験参加者

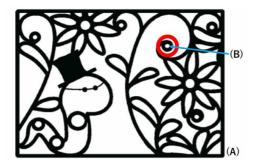


図 2 計測で使用した絵柄. 直径 10 mm の最も小さな円 (B)

Fig. 2 Pattern used for obtaining measurements. Small circle of a diameter of 10 mm (B) used for the comparison of the tracing and the cutting of the pattern.

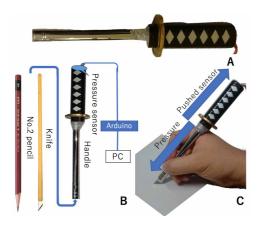


図 3 感圧センサを内蔵した筆圧計測デバイス (A), 円筒に鉛筆やナイフを挿入する (B), 利用者は円筒部を持って使用することで筆圧を計測する (C)

Fig. 3 We developed special device with pressure sensor (A). A knife or a pencil is inserted into a handle (B). Device can measure pressure during tracing and cutting (C).

とする. 実験参加者は次の2種類のタスクを行う.

- トレース:鉛筆で白と黒の境界線をなぞる.
- カット:ナイフで白と黒の境界線を切る.

この実験では線の太さが $5\,\mathrm{mm}$, $70\,\mathrm{n}$ 所の裁断箇所を持つ $A4\,\mathrm{t}$ + $4\,\mathrm{t}$ +

3.2 計測機器

実験参加者は我々が制作したデバイス(図 3 (A))を利用する.このデバイスは感圧センサ(MF01-N-221-A04, Alpha)を装着し、空洞の円筒内へ HB の鉛筆(uni、三菱鉛筆)やナイフ(BDC-200P、NT)を挿入することで感圧センサと接させる(図 3 (B)).内部の感圧センサは利用者が加えた筆圧を 500 g まで計測する.利用者は円筒部を持ち、圧力を加えることで、センサは鉛筆によるなぞり描き、およびナイフによる裁断時の筆圧を計測する(図 3 (C)).



図4 図2へのトレースとカット時の筆圧

Fig. 4 Average pressure in Fig. 2.

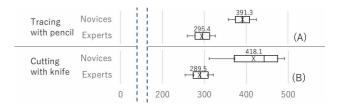


図 5 図 2 へのトレースとカット時で筆圧を 1 秒以上維持したばら つき

Fig. 5 Variability of pressure maintained by tracing and cutting in Fig. 2.

3.3 トレースとカット時の筆圧の差

本実験では、デバイスへトレース時は鉛筆を、カット時はナイフを取り付けて各タスクの筆圧を計測する。図 4はそれぞれの実験参加者が各タスクで加えた平均筆圧を示す。また、図 5は利用者が 1 秒以上維持した筆圧のばらつきを示す。

3.3.1 トレース時の結果

我々は鉛筆によるなぞり描き練習を取り入れている指導者の下で実験を行った。実験参加者たちは鉛筆を取り込んだデバイスを使用して、なぞり描き練習に基づいて絵の白と黒の境界線をなぞる。その結果、初心者は熟練者と比較して 1.3 倍強い筆圧を加えていた(図 4)。また、初心者は熟練者より高い筆圧であるが、ばらつきの幅は熟練者と変わらなかった(図 5(A))。

また、実験参加者たちへ計測デバイス利用時の重みや重心の変化についてヒアリング調査を行った。その結果、すべての初心者たちは、なぞり描きの練習として鉛筆を使うことがなかったため、計測デバイスの重みや重心の変化に違和感を感じていないことが分かった。一方で、5名中3名の熟練者たちはトレース時に重心の変化を感じており、残りの熟練者たちは重心の変化について、差を感じることなく作業をしていたことが分かった。また、すべての熟練者はふだんと変わらない力加減でなぞるために、実験時はより筆圧に注意してなぞっていることが分かった。

3.3.2 カット時の結果

実験参加者たちはナイフを取り込んだデバイスで境界線 を裁断する.ナイフが紙と接した直後や切り終えて離れる 直前は裁断ができていない状態である。加えて、本研究で使用したナイフは紙に $200\,\mathrm{g}$ の圧力から切ることができる。したがって、我々は実験参加者たちが $200\,\mathrm{g}$ 以上の筆圧を加えた状態から計測を行った。その結果、トレースと同様に初心者は熟練者より筆圧が 1.4 倍高い傾向にある(図 4)。また、初心者の筆圧のばらつきはトレースと反して熟練者よりも大きなばらつきを示した(図 $5\,\mathrm{(B)}$)。

我々はなぞり描きでは初心者と熟練者との差は筆圧の高さのみであったが、裁断では筆圧の力加減に加え、そのばらつきの差も確認した。なぞり描きは一般的に使用される鉛筆での作業のため切り絵の初心者でも筆圧を安定させることは容易である。一方、裁断で使用したナイフは初心者にとって熟練者と比較して使用頻度が少ないため、筆圧が不安定になったと考察する。

また、トレース時と同様に計測デバイスを装着することでナイフの重心が変化することについてヒアリング調査をした結果、これまで切り絵をしていなかったすべての初心者たちはカット時に違和感を感じていなかったが、5名中3名の熟練者はふだん使用するナイフとの差から重みを感じていた。しかし、すべての熟練者は図2を切る中で、ナイフと紙質に適した筆圧へと調整をすることで、計測器付きナイフの重心の変化の影響を受けることなく作業していたことが分かった。

3.3.3 円との筆圧の差

我々は最小の円(直径 10 mm)部分(図 2(B))での筆 圧、ナイフによる裁断回数に着目し比較する。表 1 は初心 者と熟練者の平均筆圧と平均の裁断回数を示す。初心者は 図 2 全体を切った場合よりも 11%高い筆圧で円を切った。 一方で、熟練者は全体と同程度の筆圧だった。図 6 は初心 者と熟練者のそれぞれ 1 名が切った円(図 2(B)部分)で ある。すべての熟練者は一定の筆圧で円を平均 2.8 回の裁 断回数で切った(図 6(A))。一方で、初心者は強い筆圧で 切るため、平均 6.0 回と複数回に分けて切った(図 6(B))。

表 1 図 2(B) に限定した筆圧と裁断回数の平均 **Table 1** Average pressure and frequency in Fig. 2(B).

	Pressure (gram)		Frequency (times)	
	Average	SD	Average	SD
Novices	470.4	13.3	6.0	0.63
Experts	303.2	10.2	2.8	0.74

Note: Rounded to the first decimal place



図 6 熟練者が切った滑らかな円 (A) と初心者が切った粗い円 (B) Fig. 6 Expert cut circle smoothly (A), novice cut coarsely (B).

また、この調査の原因について熟練者へヒアリングを行った結果、熟練者は円を滑らかに切るために、筆圧を調整していることが分かった。一方で、強すぎる筆圧による裁断はナイフを滑らかに操作することが難しい。そのため、熟練者は筆圧を一定に制御した状態で紙を切る。

4. なぞり描き練習システム

この章では、我々が開発したなぞり描き練習システムについて述べる。先の3章で利用したシステムは有線で筆圧計測デバイスとコンピュータを接続しており、ケーブルの垂れや撓み具合により、利用者の動作の妨げとなることがあった。そのため、同様に筆圧の測定を無線通信により行い、かつその結果を視聴覚へのフィードバックを可能とするデバイスによりシステムを開発した。我々のシステムはタブレット端末(iPadPro、Apple)とスタイラス(Applepencil、Apple)で構成され、スタイラスの標準機能である感圧機能を利用しタブレット端末で筆圧の状態を示す。このシステムの目的は、利用者が自身の筆圧の状態を認知することで、熟練者らしい筆圧の制御を習得することである。

4.1 筆圧提示機能

我々のシステムはスタイラスからの筆圧情報を取得することで、タブレット端末が筆圧の強さを色と音で示す「筆圧提示機能」を持つ(図 7). 4章の結果をもとに熟練者らしい適切な筆圧の範囲を 250 から 350gとした.利用者が加える筆圧が 250g未満の場合、スクリーンは加圧量に沿って白から緑色へ徐々に変化する.次に 250gから 330g未満の場合、緑色を表示する.筆圧が 330gから 350g未満では適切な範囲ではあるが、加圧気味であることを注意するためにスクリーンは黄色に変化する.最後に、350g以上の場合、赤色を示す.カラーデザインでは緑色は肯定的な意味を示し、黄色は注意、赤色は警戒を意味する.また、筆圧が 250gと 350gのとき、タブレット端末はスピーカからアラートを発する.この提示機能により、利用者はリア

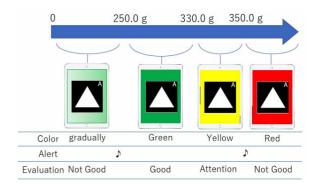


図7 筆圧の強さに応じて色と音で状態を示す

Fig. 7 Color and noise show in synchronization with user's pressure.

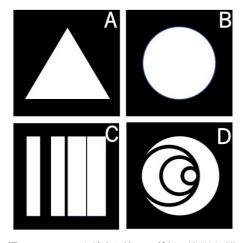


図8 タブレット端末が持つ4種類の練習用画像

 ${\bf Fig.~8}$ $\,$ Tablet device shows these patterns for practicing.

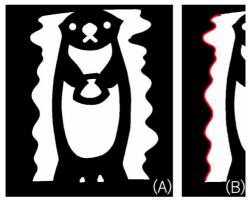


図 9 実験で使用した絵柄 (A) と様々な曲率で構成される波線部 (B)

Fig. 9 Experiment pattern (A) and the speciality lines (B).

ルタイムに自身の筆圧と熟練者の筆圧との差を学習する.

4.2 なぞり描きする絵柄

我々のシステムはなぞり描きのための4種類の絵柄を提示する(図8).これらの絵柄は実際に切り絵のワークショップでも利用されているものである.図8(A)と(B)は直線と曲線による単純な図形である.また,図8(C)は徐々に余白が狭くなるパターンであり,利用者は幅の広い左側から順に作業する指示を受ける.最後の図8(D)は徐々に半径が小さくなるパターンであり,Cと同様に利用者は曲率の小さな外側の曲線から順に行う指示を受ける.

5. 練習システムによる向上効果

この章では、我々が開発したなぞり描き練習システムの効果の検証について述べる。我々はシステムを評価するために、練習を通して変化する裁断時の筆圧を比較する。本実験では、すべての実験参加者は図9(A)をナイフで2度切る。我々は1回目と2回目での筆圧の変化を比較する。加えて、様々な曲率で構成する波線部分(図9(B))の結果を抽出し比較する。



図 10 各グループが Step 2 で利用するツール

Fig. 10 Each group use several tools in Step 2.

5.1 実験の手順

本実験では、40名の切り絵をしたことがない初心者(22から 28 歳)を 4つの 10名ずつのグループに分け、以下の 3 つのタスクを 1 度ずつ行う.

- Step 1. すべての参加者は3章で述べた筆圧を計測するナイフ(図3)で絵(図9(A))を切る.
- Step 2. 各グループは図 8 を後述する手法で行う.
- Step 3. Step 1 と同じ作業を行う.

我々は、Step 1 の平均筆圧をもとに、以下の 4 つにグループ分けを行うことで、グループ間の差が大きくならないようにした。各グループは Step 2 では以下の環境でタスクを行う(図 10)。

- *Gr1*. スタイラスを使い筆圧提示機能を表示するタブレット端末上でなぞり描きをする.
- Gr2. スタイラスを使い筆圧提示機能を非表示とした タブレット端末上でなぞり描きをする.
- Gr3. 先述のデバイスとナイフで紙を切る.
- Gr4. 先述のデバイスと鉛筆でなぞり描きをする.

我々はスタイラスとタブレット端末の機能を利用するGr1とスタイラスを使用するがタブレット端末の機能を利用しないGr2,システムを使わずにナイフによる裁断動作のみ実施するGr3,既存の鉛筆による練習法を実施するGr4とのStep1とStep3の筆圧の変化を比較する.

5.2 結果

我々はStep 1 とStep 3 での各グループの筆圧に対し、 作業全体の平均筆圧、1 秒以上維持した筆圧のばらつき、 様々な曲率による波線部分での形跡の3 つから評価する.

5.2.1 平均筆圧の変化

図 11 は Step 1 から Step 3 での平均筆圧の変化を示す. 我々は Step 1 ではすべてのグループが $400\,\mathrm{g}$ を超えたことを確認した. その後, Step 3 では Gr1 の筆圧は 82.4%と減少したが, Gr2, 3 および 4 の筆圧はそれぞれ 97.7%, 96.8%, 92.3%にとどまった. 加えて, 我々は各グループの Step 1 と Step 3 の平均筆圧に対し, 正規性の検定を行った結果, 正規分布に従うと結論づけることができなかったため, 正規性を前提としないマン・ホイットニーの U 検定による評価を行った. マン・ホイットニーの U 検定は独立

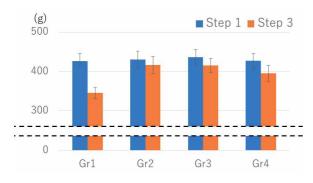


図 11 図 9 を裁断した各グループの平均筆圧 **Fig. 11** Average pressure in Fig. 9.

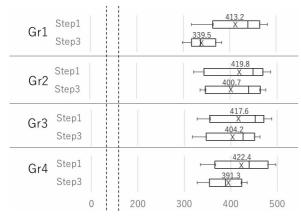


図 12 図 9 への筆圧を 1 秒以上維持したばらつき

Fig. 12 Variability of pressure maintained by tracing and cutting in Fig. 9.

した 2 群に対する検定法であるが、等分散性を前提としており、不等分散の場合に精度低下を招く。 我々は F 検定によりすべての被験者群の筆圧の値は $F_{0.05}$ において等分散であることを確認した。その結果、p < 0.05 において Gr1の筆圧のみ有意に低下したが、Gr2、Gr3 および Gr4 では有意な差はみられなかった。

5.2.2 維持した筆圧のばらつき

図 12 は各グループの Step 1 と Step 3 時の 1 秒以上維持した筆圧のばらつきを示す。 すべてのグループは Step 1 では 300 から 500 g までの広い範囲の筆圧で作業をした。また,Step 1 では平均値(図 12 中の \times 印)は中央値より低い。

Gr1 は Step 2 ではシステムにより適切な筆圧の範囲を 学習することで Step 3 では 400 g 以上での作業はなく, ば らつきの幅が減少した. しかし, Gr2 と Gr3 はその範囲が 示されないため Step 1 と Step 3 では筆圧の範囲のばらつ きの変化の少ない結果となった. 一方で, Gr4 は Gr1 と同 様に Step 1 と比較して平均値と中央値との差が減少した. また, Step 1 と比べ Step 3 では中央値が平均値に近づき, ばらつきの幅も減少したが, Gr1 ほどの変化ではなかった.

5.2.3 波線部分の裁断した形跡

図 13 は各グループから 1 名ずつが Step 3 で裁断した

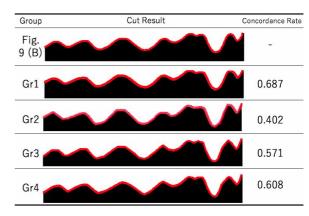


図 13 基準となる図 9(B) および各グループが切った波線の形跡と それらの一致率

Fig. 13 Vestiges of standard wavy and the wavy line cut by each participant, and their concordance rate.

表 2 図 9 (B) に限定した平均裁断回数 Table 2 Average frequency in Fig. 9 (B).

	Step 1		Step 3	
	Average	SD	Average	SD
Gr1	8.0	0.40	3.6	0.24
Gr2	8.4	1.04	7.4	0.24
Gr3	8.2	0.16	8.8	0.16
Gr4	8.0	1.20	5.4	0.24

Note: Rounded to the first decimal place

図 9 (B) を切った形跡を示す。図 13 の赤色の線は図 9 (B) の裁断する線と各グループから 1 名が裁断した線を示す。2 種類の線を重ね合わせたときの共有率を計測することで、各グループが切った形跡の精度を求めた。まったく同じ画像では値が 1.0 となり,値が低くなるほど類似度が低いことを意味する。その結果,Gr1 は最も類似度が高く,特にGr2 の類似度は最下位を示した。Gr1 の参加者は低下した筆圧により波状の線を滑らかに裁断した。一方で,Gr2,Gr3 および Gr4 の参加者は高い筆圧であったため,粗い線となった。

また、表 2 は各グループが図 9(B) を切ったときの平均裁断回数の変化を示す。Gr1 の裁断回数は最も減少し、Step 1 の 8.0 回から Step 3 では 3.6 回まで減少した。一方で,Gr2 は 8.4 回から 7.4 回と減少率が低く,Gr3 は 8.2 回から 8.8 回と増加した。また Gr4 は 8.0 回から 7.2 回と Gr1 ほど減少しなかった。

5.3 実験の考察

本実験では4つのグループの結果を比較した。Gr1とGr2では、筆圧の制御はスタイラスを利用することではなく,タブレットが表示する機能に効果があることを示した。Gr1とGr3では,筆圧の提示がない状態で裁断のみをした

場合では筆圧を制御するスキルは十分に向上しないことを示した. また, Gr1と Gr4では, 既存の鉛筆によるなぞり描き練習と比較することで, システムがより効果的であることを示した.

Gr1 は Step 2 で、熟練者らしい筆圧の範囲(250 から 350g)と比較した状態を知ることで、制御するための力加 減を学習し有意に減少した.これにより、1秒以上維持し た筆圧のばらつきの幅も減少した. そのため, 1回の裁断 時の筆圧が安定することで、波線部分(図9(B))でも裁 断回数が減少し、より長い曲線を滑らかに切ることができ た. 一方で、スタイラスでなぞり描きを行うのみの Gr2 は 熟練者らしい筆圧が提示されないため有意な変化がなかっ た. 加えて、ナイフによる裁断のみの Gr3 は、「自身の強 すぎる筆圧でも紙が切れている」という認識から筆圧の改 善はなされず、本実験では増加する結果となった。また、1 秒以上維持した筆圧のばらつきも平均値と中央値の差から 変化は少なかった. そのため, 高い筆圧状態から向上しな かったため,波線部分でも高い曲率に沿ってナイフを回転 することができなかった.しかし、既存のなぞり描き練習 を行う Gr4 は鉛筆の特性を利用し、減圧を意識することで 有意な差までではないが筆圧はわずかに減少した. 維持す る筆圧の強さは Gr1 ほど減少しなかったが、筆圧のばらつ きの幅は Gr2 や Gr3 以上に減少した. 同様に, 波線部分 でも Gr1 ほどの一致率や裁断回数は向上できなかったが、 Gr2 や Gr3 より、鉛筆でのなぞり描き練習にも練習効果が あることが分かった.

実際の切り絵の創作では、ナイフは使用するたびに刃先が劣化することや紙質などの要素から、最適な筆圧が変化するという問題がある。本稿では熟練者への計測や初心者への実験ではつねに新品の刃を利用しているため、劣化した刃を使用した場合は熟練者らしい筆圧の範囲に誤差が生じる。また、本稿ではすべての計測を一般的なコピー用紙で行っているため、ボール紙や厚紙などを使用した場合も適切な筆圧の範囲に影響を与える。そのため、今後の課題として刃先の状態や紙質の差が熟練者らしい筆圧の範囲にどの程度の影響を与えるかを考慮した計測が課題となる。

6. おわりに

本稿ではクラフトアートの1つである切り絵の創作活動のためのなぞり描きによる筆圧を制御する練習効果について述べた.ナイフで紙を切るときの筆圧を維持するための練習法の1つに鉛筆を利用したなぞり描きがある.我々はタブレット端末とスタイラスによるなぞり描き練習システムを開発した.スタイラスから利用者の筆圧を計測し、タブレット端末はその情報から熟練者との筆圧の差を提示する機能を持つ.我々のシステムは利用者と熟練者との筆圧の差に応じて色と音を提示する.我々はこのシステムの効果を確認するための実験を行い、既存の鉛筆による練習

法と比較した. その結果,システムを利用したグループは 練習後に再び創作した場合,他の群よりも熟練者らしい筆 圧で紙を裁断した. また,維持する筆圧のばらつきも縮小 した.

本稿ではスキルの向上効果について既存の鉛筆による練習法と比較した.今後は、利用者のスキルや対象とするモチーフの難度を計測することで、利用者に応じた最適な組合せを調査し、より個人に適した切り絵の練習効果の向上を目指す.

謝辞 本研究は、JSPS 科研費基盤研究 (C) 16K00269 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Polanyi, M.: Personal Knowledge Towards a Postcritical Philosophy, University of Chicago Press (1973).
- [2] Zoran, A., Shilkrot, R., Goyal, P., et al.: The Wise Chisel: The Rise of the Smart Handheld Tool, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.13, No.3, pp.48–57 (2014).
- [3] Findlater, L., Froehlich, E.J., Fattal, K., et al.: Age-Related Differences in Performance with Touchscreens Compared to Traditional Mouse Input, Proc. CHI'13, pp.343-346, ACM (2013).
- [4] Stosel, C., Wandke, H. and Blessing, L.: Gestural Interfaces for Elderly users: Help or Hindrance?, *Proc. GW* '09, pp.269–280, Springer-Verlag (2010).
- Higashi, T. and Kanai, H.: Instruction for Paper-cutting: A System for Learning Experts' Skills, *Proc. ISS '16*, pp.457–460, ACM (2016).
- [6] Higashi, T. and Kanai, H.: Tracing Practice System for Developing Paper-Cutting Skills, *Proc. KICSS'17*, pp.173–178, Springer (2017).
- [7] Higashi, T. and Kanai, H.: Stylus Knife for Papercutting: A System for Controlling a Knife, Proc. CHI EA '17, pp.2638–2645, ACM (2017).
- [8] Muranaka, N., Yamamoto, T. and Imanishi, S.: A Calligraphy Mastering Support System Using Virtual Reality Technology and its Learning Effects, *IEEJ Trans. Fundamentals and Materials*, Vol.123, No.12, pp.1206–1216 (2003).
- [9] Soga, M., Kuriyama, S. and Taki, H.: Sketch Learning Environment with Diagnosis and Drawing Guidance from Rough Form to Detailed Contour Form, *Trans. Edutainment III*, pp.129–140 (2009).
- [10] Daniel, D., Manoj, P. and Tracy, H.: iCanDraw: Using Sketch Recognition and Corrective Feedback to Assist a User in Drawing Human Faces, Proc. CHI '10, pp.897– 906, ACM (2010).
- [11] Iarussi, E., Bousseau A. and Tsandilas, T.: The Drawing Assistant: Automated Drawing Guidance and Feedback from Photographs, *Proc. UIST '13*, pp.183–192, ACM (2013).
- [12] Kritopoulou, P., Manitsaris, S. and Moutarde, F.: Towards the design of augmented feedforward and feedback for sensorimotor learning of motor skills, *Proc. MOCO '16*, pp.38:1–38:4, ACM (2016).
- [13] Fujimoto, M., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A dance training system that maps self-images onto an instruction video, *Proc. ACHI '12*, pp.309–314 (2012).
- [14] Liu, L., Chen, Y., Wang, P., et al.: Papercut: Digital Fabrication and Design for Paper Cutting, Proc. CHI

- EA '18, pp.LBW078:1-LBW078:6, ACM (2018).
- [15] Laviole, J. and Hachet, M.: PapARt: Interactive 3D graphics and multi-touch augmented paper for artistic creation, *Proc. 3DUI '12*, pp.3–6 (2012).
- [16] Rivers, A., Andrew, A. and Durand, F.: Sculpting by Number, ACM Trans. Graph., Vol.31, No.6, pp.157:1–157.7 (2012).
- [17] Nomoto, A., Ban, Y., Narumi, T., Tanikawa, T., et al.: Supporting Precise Manual-handling Task using Visuo-haptic Interaction, Proc. AH '16, pp.1–8 (2016).
- [18] Limpaecher, A., Feltman, N., Treuille, A., et al.: Real-time Drawing Assistance Through Crowdsourcing, ACM Trans. Graph., Vol.32, No.4, pp.54:1–54:8 (2013).



東 孝文 (正会員)

1989 年生. 2012 年甲南大学知能情報 学部知能情報学科卒業. 2014 年北陸 先端科学技術大学院大学知識科学技術 研究科博士前期課程修了. 2016 年同 大学院博士後期課程在学中. ヒューマ ンコンピュータインタラクション分野

の研究に従事.電子情報通信学会,ACM 各会員.



金井 秀明 (正会員)

1994年電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程単位取得退学。同年同大学院情報システム学研究科助手.2004年北陸先端科学技術大学院大学・知識科学教育研究センター・助教授,同大学院先端科学技術研究

科・ヒューマンライフデザイン領域・准教授, 現在に至る. IEEE, ACM 各会員.