疑似力覚を用いた動作訓練における訓練効果の検討

○山崎 拓真, 花井 誠一 (首都大学東京大学院 システムデザイン研究科)

新井 賢太郎, 瀬尾 明彦 (首都大学東京 システムデザイン学部)

Effects of the Motion Training Using Pseudo-Haptics

Takuma Yamazaki, Seichi HANAI (Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University)

Kentaro ARAI, Akihiko SEO (Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University)

1. はじめに

バーチャルリアリティ技術を用いた動作訓練において、ユーザに高い没入感を与えるために力覚提示装置の応用が期待されている。しかし、既存の力覚提示装置は物理的な刺激を与えるためにデバイスをユーザに装着させる必要がある。このため、デバイスはユーザを拘束し動きを制限してしまい、作業域が広い動作の訓練に応用することは難しい。そこで、ユーザの動きを拘束しない、視覚情報の変化を用いた錯触覚（疑似力覚）を力覚提示に応用する方法が期待されている。

疑似力覚に関する先行研究では、疑似力覚を生起させる手法や応用場面の提案¹⁾をした研究が多い。このため、実際に疑似力覚を動作訓練に応用した場合の訓練効果について調査した研究は少ない。一方、力覚提示装置を用いた場合の訓練効果については効果が確認されている²⁾。この先行研究では被験者に迷路なぞり課題を課した。この時、手の動作が迷路内部から外部へと逸脱をした場合に力覚を提示し、仮想的な壁の形成を行っている。

そこで本研究では、力覚提示装置を用いた先行研究を参考に、疑似力覚を用いた動作訓練が訓練効果に与える影響を検証することを目的とした。

2. 方法

疑似力覚を生起させる方法としては、ユーザの動きに合わせ画面上を変位する視覚刺激を用いて、操作量に対する変位量の比（CD比）を変化させるものが一般的である。本研究ではCD比の逆数で、カーソルの変位に対する手の変位の比であるDC比を定義し、制御することで疑似力覚の提示を試みた。DC比を増加させると視覚刺激の動作速度は加速し、DC比を減少させると動作速度は減速する。

2.1 実験環境

実験装置には、カーソル提示と手の位置計測の

図1 実験レイアウト

図2 3次元迷路課題

ために3次元位置計測センサFastrakを使用し、図1に示す実験環境を構築した。また、疑似力覚による動作訓練の対象として図2に示す3次元迷路課題を作成した。課題は被験者の手に装着したFastrakのレシーバから手の座標を読み取る。そして、被験者の手が変位した時、画面上のカーソルを同方向に、同量変位させる。作成には3Dゲーム開発環境であるUnityを用いた。

2.2 実験方法

被験者は男女9名（ 23.0 ± 0.8 歳（Mean $\pm$ SD））の学生とした。被験者には、図1で示す実験レイアウトにて、図2に示す3次元迷路を手の動作と同期したカーソルでなぞるタスクを課した。ここで、カーソルが迷路内部から外部へと逸脱した時にDC比を減少させることで疑似力覚の提示を試みた。これによって、被験者に仮想的な壁を提示することで動作経路の修正を促した。実験要因は迷路内部から外部へと逸脱した際のDC比の変化とし、迷路内部を追従している基準となるDC比の24%, 48%, 100%の3水準で実験を実施した。

本研究では上記の迷路なぞり課題を16回繰り返し行う。これを訓練試行と定義した。また、訓練試行を実施する前後に、逸脱時にもDC比を変化させない条件（100%条件）を2試行ずつ実施した。これをテスト試行と定義した。

2.3 計測項目

3次元位置計測センサを用いて被験者の手及び

同期しているカーソルの動きを計測した。これにより、カーソルが迷路内部から外部へ逸脱した回数、迷路の中心線から逸脱していた距離、追従動作全体の時間と迷路外部へと逸脱していた時間の比（逸脱時間/動作時間）について算出した。また、主観評価として、迷路課題を実施する度に疑似力覚を知覚した強さについて8段階で評価した。

2.4 解析方法

テスト試行に着目し、訓練試行実施前、実施後の各指標の結果をそれぞれ平均した。これにより、訓練前のテスト試行と訓練後のテスト試行の結果を比較し、変化率が大きい条件を調査した。ただし、知覚した疑似力覚の強さについてはDC比変化を提示した訓練試行の結果を平均した。また、上記で求めた変化率がDC比変化と疑似力覚のいずれに起因するか検討した。具体的には、実験条件であるDC比の変化、及び計測項目である知覚した疑似力覚の強さを説明変数、テスト試行の変化率を目的変数として重回帰分析を行った。変数選択の方法としては増減法を用いた。これにより、標準偏回帰係数を求めることでDC比変化と疑似力覚の強さで、訓練効果に与える影響を比較した。

3. 結果

図3(a)に逸脱距離、(b)に逸脱回数、(c)に逸脱時間/動作時間の結果を示す。また、図4に知覚した疑似力覚の強さの結果について示す。図3において、前半2試行から後半2試行での結果の変化率は逸脱回数と逸脱時間/動作時間では24%条件で最大、100%条件で最小を示している。この大小関係は図4に示した主観評価の大小関係の傾向と一致している。

表1に重回帰分析を行った際の標準偏回帰係数を示す。なお、「-」は増減法で変数が採択されなかったことを示す。表より、変化率に関してはどの目的変数でも変数が採択されず、疑似力覚の知覚強さではどの目的変数に対しても-0.5以下の回帰係数が得られた。

4. 考察

結果より、DC比変化の提示により訓練効果に差が表れていることが見て取れる。DC比変化の無い条件(100%条件)では迷路内部からの逸脱をカーソルと迷路の相対的な位置情報からのみ判別しなけ

ればならない。しかし、画面内の位置情報のみから逸脱の判別を行うことは難しいと考えられる。一方、DC比変化条件では、訓練試行中に逸脱の判別にDC比変化を利用することで効率の良い動作訓練を行うことが出来たと考えられる。

表1より、2種の説明変数において、知覚強さの説明変数においてのみ高い負の相関を得ることが出来た。このことから、視覚刺激による訓練効果は、DC比変化そのものでなく、DC比変化が原因として知覚する疑似力覚による影響を受け、その効果は知覚が強い程大きくなると考えられる。

5. まとめ

本研究では、被験者に経路逸脱時にDC比変化を提示する3次元迷路課題を課すことで、疑似力覚を用いた動作訓練の効果を検証した。その結果、疑似力覚を用いた動作訓練は通常の訓練よりも訓練効果が高く、強く知覚をするほど高い訓練効果を得られることが分かった。

参考文献

- 1) 伴 祐樹 他：“Pseudo-Hapticsを利用した三次元曲面の形状知覚操作に関する基礎的検討”，電子情報通信学会技術報告.MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, 111 (101), pp. 67-72, 2011.
- 2) 神邊 篤史 他：“上肢の大きな動作の訓練を目指したVR型運動学習支援システムの開発”，日本教育工学会論文誌, 33 (2), pp. 143-150, 2009

図3 動作の正確性

図4 疑似力覚の知覚

表1 標準偏回帰係数

	説明変数	
	変化率	知覚強さ
逸脱/動作時間	-	-0.596
逸脱距離	-	-0.737
逸脱回数	-	-0.753