

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K10346

研究課題名(和文)空間認知能力トレーニングは内視鏡外科医の手術技術を向上させる

研究課題名(英文) Spatial cognitive skills training improves surgical skills of laparoscopic surgeons

研究代表者

服部 稔 (Hattori, Minoru)

広島大学・医系科学研究科(医)・助教

研究者番号：10584683

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：術者の空間認知能力に焦点を当てたトレーニング法の開発を行った。まず我々が開発したHUEADを用いた機械学習を用いた分類法を提案した。この結果Random Forestがより正確で高いAUCを示した。次に空間認知能力トレーニングが内視鏡外科手術にどのような影響を与えたか検討を行った。内視鏡外科手術技術の向上率による比較を行った結果、鉗子操作の正確性について空間認知能力トレーニング群に有意な向上が認められた( $p=0.029$ )。鉗子操作のスピードや鉗子操作のズレにおいては有意な差は認められなかった。これにより空間認知能力トレーニングは内視鏡外科手術技術トレーニングとして有効であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

内視鏡外科手術などの低侵襲手術は、医療のあり方を根本的に変えてきた。しかしながら内視鏡外科は従来の開腹手術と異なるため、特別なトレーニングが必要となる。さまざまなトレーニングが開発され効果が認められているが、トレーニングボックスの前でないと実施できないトレーニングは時間と場所の制約が大きい。そこで本研究では内視鏡外科手術に重要だとされている空間認知能力に焦点を当て、空間認知能力トレーニングを開発した。その結果空間認知能力トレーニングは術者の鉗子操作の正確性を向上させることが明らかになった。またこのトレーニングは空間認知能力が低い人ほど有効であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a training method that focuses on the surgeon's spatial cognitive abilities. First, we proposed a classification method using machine learning with our HUEAD as a method to evaluate the validity of endoscopic surgical procedures. higher value. Next, we investigated the effect of spatial cognition training on endoscopic surgery. The results of comparing the rate of improvement in endoscopic surgical technique showed that there was a significant improvement in the accuracy of forceps manipulation in the spatial cognition training group ( $p=0.029$ ). There was no significant difference in speed of forceps manipulation or misalignment of forceps manipulation ( $p=0.581$ , ( $p=0.999$ )). This suggests that spatial cognition training is a reasonable training to improve spatial cognition.

研究分野：心理学

キーワード：内視鏡外科手術 HUESAD

## 1. 研究開始当初の背景

内視鏡外科手術(図 1)はその整容性と低侵襲性から外科手術のあらゆる領域で行われており、2016年には25万件を超える勢いである(日本内視鏡外科学会, 2016)。しかし内視鏡外科手術はモニタの2次元画像から臓器の立体構築をイメージし、特殊な鉗子等を用いて行う従来の開腹手術とは全く異なる技術を必要とする手術である(図 1)。具体的には ①術野からの触覚によるフィードバックがない、②奥行き知覚の欠如、③動きの制限などの困難さがある。

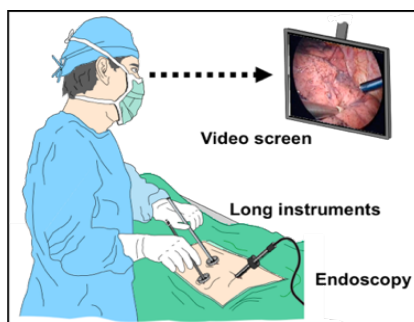


図 1 内視鏡外科手術のシェーマ

したがって従来の開腹手術をいかに多数経験しても、内視鏡手術のトレーニングを経ることなく、内視鏡手術を行うことは不可能である。実際に内視鏡外科手術を安全に遂行するため多くの努力がなされてきたが、術中の不適切な手術操作を原因とした合併症が依然として存在しているのが現実である。

我々は内視鏡外科手術の困難な課題である、モニタの2次元画像から臓器の立体構築をイメージするためには、術者の「空間認知能力」が重要な意味を持つのではないかと考え、術者の空間認知能力と内視鏡外科手術技術の関連について研究を行ってきた。実際に内視鏡外科手術技術は術者の空間認知能力と強い関連があること(Hattori et al., 2012; Egi, Hattori et al., 2015)、3次元画像を提供することができるロボット手術においては空間認知能力が低くても手術技術力が維持できること(Egi, Hattori et al., 2015)、3次元内視鏡画像システムは空間認知能力が高い術者よりも空間認知能力が低い術者に特に有用であること(Egi, Hattori et al., 2016)などを明らかにしてきた。

これらの結果は、内視鏡外科手術技術において空間認知能力が非常に重要な要素であることを示している。しかしこれまでの研究は「内視鏡外科手術を安全に提供するためにはどうしたら良いか?」という問いには十分に答えられていない。したがって空間認知能力の低い者に対して空間認知能力高めるためにはどうしたら良いかという問いに答える必要がある。そこで本研究は、内視鏡外科医のための空間認知能力トレーニングシステムを開発し、術者の空間認知能力を高めることによって安全な内視鏡外科手術を提供することを目的とした。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、内視鏡外科手術の欠点である二次元視野による奥行き知覚の欠如を克服するために、術者の内視鏡外科手術に必要な空間認知能力を向上させるトレーニング法を開発することである。

### 3. 研究の方法

#### <実験①> 空間認知能力トレーニングの妥当性の検証

空間認知能力トレーニングを開発し、医師の空間認知能力が実際に向上するか検討する。先行研究(Rosenthal et al., 2010; Lowrie et al., 2017, 服部, 2019 癌治療学会発表)を参考に、紙上で簡便に実施できる空間認知能力の課題を選定し(図 2)、トレーニングプログラムを開発する。トレーニングプログラムの妥当性の検証として学生を対象とし実験を行う予定である。トレーニングプログラム前後で空間認知能力の標準課題であるメンタルローテーションテスト(図 3)(Shepard and Metzler, 1971)の成績が向上した場合、空間認知能力トレーニングの構成概念妥当性を満たしているとみなす。

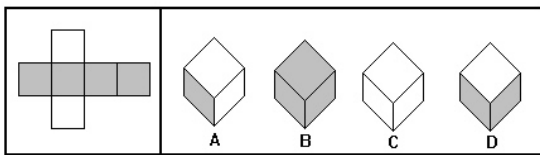


図 2 空間認知能力トレーニング課題(一部)

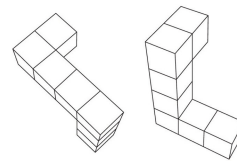


図 3 メンタルローテーション(MRT)

#### <実験②>. 内視鏡外科手術評価装置 HUESAD の更なる妥当性の検証

次に内視鏡外科手術技術の評価を行う HUESAD の妥当性を検討する。我々の研究室では、広島大学内視鏡外科評価装置(HUESAD)の3つの動作解析パラメータ(MAP)を用いて、腹腔鏡手術手技の充実したデータセットを蓄積してきた。このデータセットは、その大きさと、手術手技のニュアンスを包括的に把握できる HUESAD パラメータを使用している点で、ユニークなものである。そこでこのデータセットに機械学習を適用して、HUESAD パラメータに基づいて内視鏡外科手術に熟達した医師と学生を分類することができるか検討を行なった。このアプローチにより、正確で客観的な手術手技の尺度が得られる。さらに、これらの分類法は、トレーニングプログラムの調整、建設的なフィードバックの提供、外科トレーニングの進捗状況の監視に使用できることが期待される。腔鏡手術の技能に基づく参加者の分類には、先行研究に基づく5つの機械学習分類法(Random Forest、K-star、Support Vector Machine、Multilayer Perceptron、Linear Discriminant Analysis)を使用した。収集した動作データから3つの HUESAD パラメータ(鉗子操作のずれ、鉗子操作の正確性、滑らかさ)を算出し、分類法の入力特徴として使用した。10-fold クロスバリデーションによって評価し、混同行列として表した。ROC、MCC、PRC など、いくつかの一般的な指標を用いてモデルの性能を評価した。

#### <実験③>空間認知能力トレーニングが内視鏡外科手術技術に及ぼす影響

HUESAD の妥当性を改めて評価した上で、最後に空間認知能力が術者の鉗子操作に影響及ぼすか検討を行った。医学部学生 24 人を対象に行った。参加者は空間認知能力トレーニングの実施前に MRT、HUESAD を実施した。その後空間認知能力群には空間認知能力トレーニングを約 1 時間行った。その後持続効果を見る為 1 週間期間を空けて再度 MRT、HUESAD の測定を行った。一方で Control 群は空間認知能力トレーニ

ングを実施せず 1 週間後に再度 MRT, HUESAD の測定を行った。

#### 4. 研究成果

##### <実験①> 空間認知能力トレーニングの妥当性の検証

空間認知能力トレーニングの妥当性を検証するために、まずは学生 17 名を対象に空間認知トレーニング有り群(7 名)と無し群(10 名)で空間認知能力が実際に上がるのか検討した。その結果トレーニング前では両群に差はないものの、トレーニング後では空間認知能力トレーニング群に有意に MRT スコアが向上していた ( $p < 0.05$ )。また空間認知能力トレーニング群はトレーニング前よりもトレーニング後で有意に MRT スコアが向上していた ( $p < 0.05$ )。このことから空間認知能力トレーニングの妥当性が明らかになった。またトレーニングは毎日実施したものと、1 週間に 1 度 1 時間実施した者では有意な差は認められなかった。ことから週に 1 回 1 時間の空間認知トレーニングが妥当であることが示唆された。

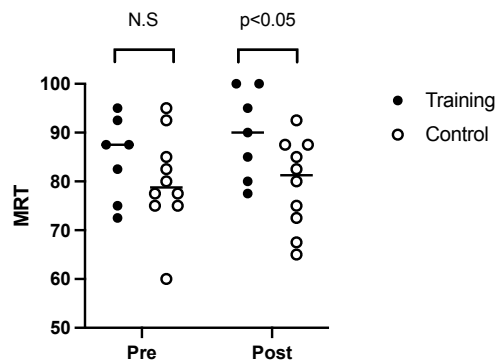


図 4 空間認知能力トレーニングと MRT 得点

##### <実験②>. 内視鏡外科手術評価装置 HUESAD の更なる妥当性の検証

参加者全員が HUESAD(図 5)の課題をクリアすることができた。水平面、垂直面ともに、熟練者群は初心者群に比べて鉗子操作のズレが有意に低かった ( $P_s < 0.001$ )。鉗子操作の正確性は、熟練者群の方が初心者群より有意に低かった ( $P_s < 0.001$ )。滑らかさは、熟練者グループの方が初心者グループよりも有意に高かった ( $P_s < 0.05$ )。

機械学習による分類 分類スコアは、経験豊富な外科医または初学者として評価する高い弁別能力を示した。正しく分類された割合は 95.2%であった。誤った分類割合は 4.8%であった。ランダムフォレストは、経験豊富な外科医の予測率が 0.727, 初学者の予測率が 0.992 と、参加者のスキルレベルを予測する上で最も優れた性能を発揮することが示された。特に初学者を外科医と判断する率が低いことは資格制度では重要であると考えられる。ランダムフォレストの全体的な精度は 0.952 であった。最終的にランダムフォレストは、MCC 0.802、ROC Area 0.955、PRC Area 0.973 と、3つの指標すべてにおいて最も高い性能を持つことがわかった。次点の K-star 分類器は、MCC が 0.723、ROC Area が 0.960、PRC Area が 0.968 であった。Support Vector Machine、Multilayer Perceptron、Linear Discriminant Analysis の各モデルは、低い性能を示した。本研究の結果は海外誌に投稿中である (Hattori et al. submitted)。

表 1 機械学習の評価

Classifier	F1 Score	ROC area	MCC	PRC area
Random Forests	0.802	0.955	0.802	0.973
K-star	0.762	0.960	0.723	0.968
Support vector machine	0.588	0.719	0.571	0.841
Multilayer perceptron	0.591	0.940	0.518	0.953
Liner discriminant analysis	0.654	0.902	0.591	0.908

### <実験③>空間認知能力トレーニングが内視鏡外科手術技術に及ぼす影響

本研究では空間認知能力トレーニング(n=11)とコントロール群(n=13)で実施した。空間認知能力トレーニングが内視鏡外科手術にどのような影響を与えたか検討を行った。評価装置には HUEDAD (Hiroshima University Endoscopic Surgical Assessment Device)を用いた。内視鏡外科手術技術の向上率による比較を行った結果、鉗子操作の正確性について空間認知能力トレーニング群に有意な向上が認められた(p=0.029)。鉗子操作のスピードや鉗子操作のズレ(p=0.581)においては有意な差は認められなかった(p=0.999)。これにより空間認知能力トレーニングは空間認知能力の向上に妥当なトレーニングであることが示唆された(図5)。

さらに空間認知能力トレーニングの効果を詳細に検討するため、空間認知能力トレーニング群(N=11)を空間認知能力(MRT test の正答率/反応時間)の中央値を基準に高群(N=5),低群(N=6)に分け内視鏡外科手術技術評価のための空間認知能力トレーニングの比較を行った。その結果、両群に HUESAD の成績向上が見られたが、主として鉗子操作の正確性について特に低群において大きな向上が認められた。このことから内視鏡外科手術における空間認知能力トレーニングは空間認知能力低群により有効であることが示された。

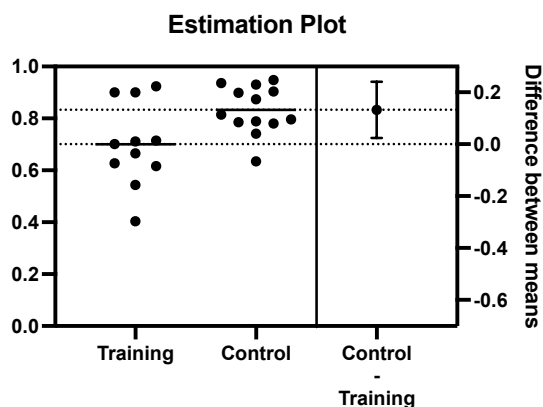


図5 空間認知能力トレーニングが鉗子操作の正確性に及ぼす影響

本研究では内視鏡外科手術の欠点である二次元視野による奥行き知覚の欠如を克服するために、術者の内視鏡外科手術に必要な空間認知能力を向上させるトレーニング法を開発することを目的とした。その結果、内視鏡外科手術に有効な空間認知能力トレーニングを開発することができたと考えている。

今後は標準的な内視鏡トレーニングであるドライボックスによるトレーニングと空間認知トレーニングを併用することで、より効率的なトレーニングを実施する必要がある。また本研究は学生を対象としていることから、医師を対象として空間認知能力トレーニングの効果を検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	惠木 浩之  (Egi Hiroyuki)  (20403537)	愛媛大学・医学部附属病院・准教授    (16301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関