

令和元年6月7日現在

機関番号：34504

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16079

研究課題名(和文)鏡治療における視覚情報提示が自己身体の認知と不快な情動に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文)Elucidation of influences to negative emotions and body perceptions on visual stimulus in a mirror visual feedback

研究代表者

福森 聡 (Fukumori, Satoshi)

関西学院大学・理工学部・助手

研究者番号：00756710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では自己身体の認知と不快な情動に対して視覚情報が与える影響について鏡療法条件下だけでなく、鏡療法のない条件でも調査を行った。実験の結果、鏡療法中の自己身体の認知に予測誤差が重要な役割を担うことを明らかにし、鏡療法特有の運動タスクが一部の人にとって適切にタスクを実行できない可能性を示した。ヒトの自己身体の認知と不快感に関しては、見かけの肢の空間的な位置と実際の肢の位置との間に空間的なズレが生じた際に人は不快な感覚を持つことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで疼痛に関する研究と自己身体の認知を総合的に調査した研究は少なく、疼痛研究と認知科学とを繋ぐ研究に取り組み始めたことが学術的に意義がある。また、本研究では積極的にバーチャルリアリティ技術を取り入れたことで自己身体の認知を定量的に調査した。この定量的評価方法は、自己身体の認知や不快な情動という個人差の大きな量を扱う上で将来性があり学術的に意義深いと考える。社会的意義に関して、本研究は自己身体の認知という認知科学的な分野からのアプローチ可能性を示し、疼痛に関する研究の裾野を広げた。現代において疼痛は社会問題であり、本研究の成果はこの社会問題の解決にの礎となったと考える。

研究成果の概要(英文)：We performed three kinds of experiments. In the first experiment, we found that prediction error was perceived when a sensorimotor incongruence was felt between a visual prediction and visual feedback. In addition, our result showed interindividual variability in a synchronous finger movement between the prediction and visual feedback in the mirror visual feedback. We used an immersive VR from the second experiment to investigate and develop an MVF with VR technology which had a new concept. The concept is that the intensity of the sense of ownership is changed flexibly by controlling visual feedback in one MVF. we showed that the intensity could control by changes angle of view in the immersive VR. In the last experiment, we investigated the relationship between negative emotions and visual-sensorimotor incongruence. Results suggested that negative sensations were caused by an incongruent judged when conflict between sensorimotor and visual information.

研究分野：認知科学

キーワード：鏡療法 情動 身体認知 バーチャルリアリティ 不快感

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究では、運動機能回復に使われるリハビリテーション(以下、リハビリ)手法の一つである鏡療法に関する認知基盤と不快な情動に及ぼす影響の解明を目指す。この2つの関係に着目する理由は、鏡療法と呼ばれるリハビリ手法がある特殊で慢性的な痛みを軽減させた事例にある。この事例の中では疼痛の軽減に合わせて運動機能の回復も報告されており、疼痛と運動機能との間には関連性があると推測される。この関連性についての調査は様々な分野の発展に寄与でき、特に、鏡療法とバーチャルリアリティ(以下、VR)鏡療法の治療機序の解明や人が痛みを感じるメカニズムの解明に繋がり得る点で意義がある。

鏡療法は、切断患者の幻肢や難治性疼痛における障害された肢の運動機能のリハビリテーション手法の一つとして広く知られている(図1a) [1]。患者が、障害された側(以下、患側)の肢の姿勢と鏡に写る健全な側(以下、健側)の肢の位置を、見かけ上一致させながら健側の肢でのみ随意運動を行う。すると、あたかも鏡の裏にある患側の肢を動かしているように感じられる。この感覚は鏡療法の視覚的なフィードバックである鏡像が、実際には動かしていない肢の体勢感覚の情報を置き換えることにより起こると考えられているが[2]、詳細は明らかでない。従って、一部の患者に対して鏡療法が治療効果を発揮している理由も明らかでない[3]。

私は、鏡療法の治療手法を継承しながら、VR技術を導入したVR鏡療法を開発した(図1b)。VR鏡療法の治療機序は、従来の鏡療法では有効性が見られなかった長期化した複合性局所疼痛症候群(Complex Regional Pain Syndrome: CRPS)を持つ患者に対して、良好な治療効果を示した[4,5]。しかしながら、鏡療法がVR鏡療法より高い効果を表す患者が存在するであろうことも容易に想像できる。両手法に共通する行為は、患者が健全な本物の手で自ら運動を行い、その運動に基づいてもう一方の仮想の手が動く様子を観察出来ることである。一方、鏡療法では、鏡に映る仮想の手と本物の手の姿勢が一致しているのに対し、VR鏡療法では、ディスプレイに映る仮想の手の位置と本物の手の姿勢が離れている(図2b)。従って、VR鏡療法の仮想の手の視覚情報は、鏡療法のように本物の手に関する体性感覚情報を置き換えていない。

これまで、静止状態において鏡に映る仮想の肢と鏡の裏の本物の肢の姿勢が一致しない時、健常者が不快感を覚えること[6]や鏡像の手と鏡の裏の本物の肢の運動が同期しないときの認識に関わる神経基盤[7]についての研究等はある。しかしながら、鏡像もしくは提示画像と本物の肢の間の空間的位置関係や時間的差異が認識に与える影響とその時の不快な情動の発生の有無について総合的に調べた研究はない。



(a)鏡療法

(b)VR鏡療法

図1 2つの鏡療法

[1] Ramachandran, V. S., Brain, Vol.121, No.9, pp.1603-1630, 1998. [2] Sumitani, M., Miyauchi, S., et al. Rheumatology, No.47, Vol.7;pp.1038-43, 2008. [3] Ramachandran, V. S., & Altschuler, E. L, Brain, Brain, Vol.132, No.7, pp.1693-1710, 2009. [4] Sato, K., Fukumori, S., et al, Pain Medicine, Vol.11, No.4, pp.622-629, 2010. [5] 諫武, 福森, et al, ヒューマンインタフェース学会論文誌, pp.63-72, 2015. [6] McCabe S. C., Haigh C. R., Rheumatology No.44 pp.509-516, 2005. [7] Fink G. R., Marshall C. J., Brain, No. 122, pp.497-512, 1999.

### 2. 研究の目的

鏡療法とVR鏡療法の治療機序解明の端緒を切り開くため、VR鏡療法を用いて鏡療法中の自己身体の認知的基盤と不快な情動に及ぼす身体運動や認識の影響を明らかにすることを最終的な目的とする。本研究では、最終的な目的の達成のために段階的に3つの目的で実験を実施した。

#### (1)鏡療法における運動の認識

本研究では鏡療法中に行われる見かけの肢と実際の肢の動きの同期が重要と考え、この同期を行うための心的行為として運動イメージに着目した。運動イメージにはいくつかの定義があるが、本研究では鏡療法における運動イメージを次のように定義した。運動イメージとは自身の肢の運動が変化するさまに合わせて同期的にその運動の変化するさまを予測する心的行為、かつ実際の肢の運動を伴わない行為である。この研究での目的を、鏡療法における運動イメージによる運動の視覚的变化の予測と仮想の手の動く様子の間の一致・不一致がどのような認知機能に基づいて判断されているか明らかにすることとした。

#### (2)視覚提示制御による身体所有感の操作

(1)の研究の過程で鏡療法とVR鏡療法の相違点について考察したところ、体性感覚情報の置き換えにより引き起こされる身体所有感(この身体はまさに自分のものだと言う感覚)に相違があると考えた。鏡療法は身体所有感を利用者を与えるのに対してVR鏡療法は与えておらず、このことが2つの鏡療法の異なる治療効果に繋がっていると考えた。逆説的に、この身体所有感を1つのシステムでコントロールできれば、鏡療法とVR鏡療法の両方の特性を備えた新し

い鏡療法の構築が可能である。そして、この新しい鏡療法により患者の症状や治療経過に適したリハビリの機会を提供することができる。そこで、本研究では上肢に関する身体所有感を操作することのできる手法の開発を目的とした。

### (3) 身体認識と不快感の関係の調査

研究を進める中で、鏡療法や VR 鏡療法中という限定的な条件ではなく、より一般性を高めた条件で不快感について調査することが最終的な目的の達成のために適切だと考えた。なぜならば、身体認識と不快感の関係に関しては一般性の高い調査が鏡療法での調査を包括すると考えたためである。そこで、本研究では鏡療法に条件を限定せず、身体認識と不快感の関係性についての調査を行った。この調査を行うために2つの目的を設定した。1つ目は、見かけの上肢と実際の上肢の間の空間的位置がどの程度の距離ずれたときに不一致が判断されるか、2つ目は不一致を感じた時に不快感が生じるのかについて明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 鏡療法における運動の認識

目的達成のために、VR 鏡療法を模擬した実験環境を VR 技術により構築して実験した(図2)。構築した実験環境内で、参加者は提示された仮想の手を見ながら運動イメージにより仮想の右手が動くさまを予測し、その予測を仮想の右手の動くさまに一致させるという実験タスクを行った。実験タスク中の脳活動を fMRI により計測して分析し、参加者の内観も質問紙を用いて調査した。実験条件については、運動イメージによる動きの変化の予測と仮想の手の動くさまが一致する条件と一致しない条件を設定し、計算機を使って仮想の右手の動きを操作することで条件を自動で統制した。一致する条件では仮想の右手を実際の左手の動きに遅れなく追従し、一致しない条件では仮想の右手が実際の左手の動きに対して 300 ms 遅れて追従した。

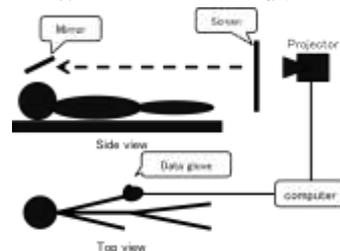


図2 fMRI を使った実験環境

### (2) 視覚提示制御による身体所有感の操作

広視野角 HMD と呼ばれる頭部に装着するタイプのディスプレイを利用した視覚提示により、1つの視覚提示システムで身体所有感を変化させられると考えた。そこで本研究では、2段階で実験を行った。まず1段階目は、3DCG で作られた上肢の映像を参加者が広視野角 HMD を通して見ることで、上肢に関する身体所有感を持つことができるか確認した。その後、2段階目と同じ広視野角 HMD を利用して、視覚提示を操作することで身体所有感を増減させられるか確認した。本研究では、広視野角 HMD で提示する透視投影の映像の投影面を縮小することによって身体所有感を減少させられると仮説を立て実験を行った。そこで、実験条件として第1段階で提示した映像とこの映像の投影面を縮小した映像の2つの映像を提示した。そして、質問紙を用いて身体所有感がどのように変化したか調査した。

### (3) 身体認識と不快感の関係の調査

参加者は映像を見ながら寝台の下部に足の裏を密着させて仰向けになり、右腕を地面に対して垂直に上げた状態を維持した(図3)。実験中参加者は、広視野角 HMD を頭部に装着して、3DCG で作られた仮想の上肢を観察した。広視野角 HMD を通してこの仮想の肢を見ることで、参加者はあたかも自分自身の前方に対して右上肢が真っ直ぐに伸ばされている様子を見ることができた。本研究では見かけの上肢と実際の上肢の間の空間的位置のズレが大きくなればなるほど、ズレの判断は正確になると仮説を立てて実験を行った。実験条件の設定のために空間を右手座標系で定義した。右上肢に平行な軸を z 軸とし、指先から肩に向かう向きを z 軸の正とした。z 軸に直行する平面を x-y 平面として身体の左右方向を x 軸としたとき、x 軸に対して 90, -60, -30, 0, 30, 60, 90 mm の7種類の距離だけずらす条件を設定し、y 軸上も同様に7種類の距離だけずらす条件を設定した。また、不快感の調査には質問紙を用い、不一致を認識した時に感じた時の内観について調査した。



図3 広視野角 HMD を使った実験の様子

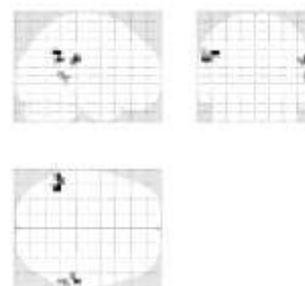


図4 脳機能画像

## 4. 研究成果

### (1) 鏡療法における運動の認識

運動イメージにより仮想の手の動きの変化するさまを予測することで仮想の手の動くさまとその予測の間の時間的な一致・不一致を適切に判断できることが、実験タスクの達成度から明らかとなった。また、仮想の手の動くさまとその予測が時間的に一致しない時、適切に予測誤差が認識されることが、fMRI を

用いた脳機能画像の分析(図 4)の結果から明らかとなった。これらのことから、予測誤差が鏡療法中の時間的な一致・不一致の正しい判断に必要であり、予測誤差には運動イメージにより仮想の手の動きの変化するさまを予測することが重要な要因の一つだと考えられる。一方で、予測と視覚情報の不一致が判断されることによって、この判断以前の感覚的なレベルでの不一致の認識が高まっていることも示唆された。

これまで鏡療法に関する研究において運動中の身体の認識や運動そのものに対して個人差が議論されることはあまりなかったが、本研究では個人差に着目した。その理由は、鏡療法も VR 鏡療法も治療効果を得られない患者が一部存在し、その患者はそれぞれの鏡療法のタスクをうまく実行できていない可能性があるからである。運動予測と視覚情報を一致させるというタスクの成功率の結果(表 1)から、個人毎に偏りがあることが示唆された。さらに、本実験で得られた予測誤差の認識やタスクの達成度の偏りの割合と鏡療法・VR 鏡療法による治療効果が合った患者の割合を比較した。するといくつかの治療研究の事例で割合が類似しており、治療効果と鏡療法におけるタスク達成度には何らかの関係性を持つことが示唆された。

表 1 タスク達成度

No.	(遅延なし, 成功)		(遅延あり, 成功)	
	回数	割合	回数	割合
1	2	0.33	3	0.50
2	6	1.00	2	0.33
3	5	0.83	0	0.00
4	6	1.00	0	0.00
5	4	0.67	1	0.16
6	4	0.67	0	0.00
7	5	0.83	3	0.50
8	6	1.00	0	0.00
9	6	1.00	0	0.00
10	6	1.00	2	0.33
11	1	0.17	0	0.00
12	6	1.00	4	0.66
13	2	0.33	1	0.16
14	6	1.00	1	0.16
15	6	1.00	0	0.00
16	5	0.83	2	0.33
	4.75	0.79	1.19	0.20

### (2) 視覚提示制御による身体所有感の操作

広視野角 HMD を使って上肢の映像を提示したところ、すべての参加者が映像で提示した上肢と実際の上肢の空間的な位置が一致したことを報告した。第 2 段階の実験における質問紙の結果(図 5)を見ると質問項目 1、2、3 において狭視野と広視野との間で差があり、狭視野条件のスコアが低かった。狭視野条件で身体所有感が減少した原因は、仮想の上肢が実際の上肢より小さく見え、かつ、空間的な位置がズレたことにある。そして、一つの広視野角 HMD で映像を変化させるだけで、身体所有感を操作できるということであり、鏡療法と VR 鏡療法の両方の特性を持った鏡療法のためのシステムを構築できるということである。しかも、本研究での映像の操作方法は 3DCG の描画の最終工程の画像を加工するという手法であるため、計算コストが低く、しかも 3DCG に関する計算処理はすべて共通化することが可能である。そのため、低コストでシステム開発や運用をできる他、患者の症状や治療段階に合わせて身体所有感を変えられるため、有用な鏡療法システムの開発に結びつく。

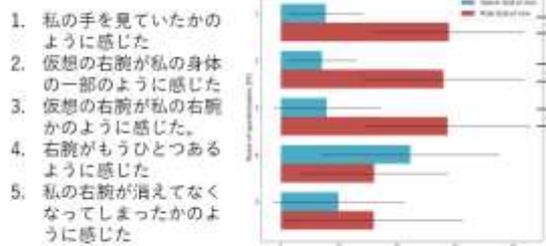
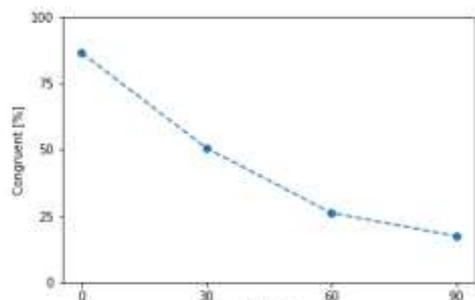


図 5 狭視野と広視野の比較

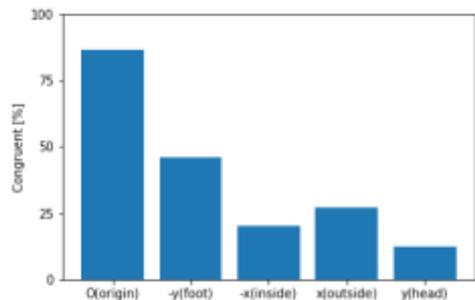
### (3) 身体認識と不快感の関係の調査

没入型 VR の VR 空間内でも仮想の上肢と実際の上肢の空間的な位置のズレの距離が大きくなればなるほど、一致が正しく判断されることが明らかになった(図 6a)。この結果は、従来の研究結果と整合するものであり例え VR 空間でも同様の現象が起こることが明らかとなった。ただし、この一致の判断が曖昧になる空間領域が存在しており、実際の肢の位置から仮想の肢が 30mm 離れた付近で一致の判断が曖昧になる領域がある可能性が新たに示唆された。この示唆は、本研究の実験手法が空間的なズレを定量的操作できたために得られた新しい示唆である。

方向に関する結果(図 6b)では、身体の横方向に比べて縦方向に関する認識では正負の方向の間の差が大きく、足の方へ空間的なズレが生じた際に誤った一致の認識が増加している。増加の原因は、視点からある物体が遠ざかれば遠ざかるほどその物体は小さく映し出されるから



(a) 距離 [mm]



(b) 方向

図 6 不一致の判断

である。しかも、映る物体の大きさは距離に対して逆 2 乗で作用するため、距離が遠くなればなるほど大きさの判別は難しくなり、結果としてズレの認識が曖昧となった考えられる。VR 技術を導入することで、これまでほとんど検討されてこなかったズレの方向に関する調査を行うことができた。そのため、本研究の実験手法自体も、今後のヒトの身体認識に関する研究にとって有用だと考える。

不快感については、参加者は不一致を判断した時に違和感や不快感を持ったことが明らかとなり、これの結果は鏡を使った従来研究の報告と一致した。ただし、本研究では全員の参加者が不快感を報告している点は従来との研究報告とは異なる結果となった。参加者が不快感を持った要因として、距離と方向のどちらかの影響、または両方の影響が考えられる。参加者ら質問紙の回答から、本来腕が見えないはずの身体の位置から上肢が見えたことが不快感につながった、つまり方向の影響が大きいと考えられる。これまで不快感に対してズレの方向が影響を与えるとの報告はなく興味深い結果である。

目的(1)と同様に実験タスクの個人ごとの達成度(表 2)を見ると、一部の参加者はタスク達成度が高かった。目的(1)と目的(2)の結果を総合すると、見かけの上肢と実際の上肢を一致させるというタスクの達成に関して、空間的な一致と時間的な一致の両要因に個人ごとの偏りが存在することを意味する。このような個人ごとの偏りに関する指摘はこれまでになく、本研究の重要な成果だと言える。そして、個人ごとの偏りに関する議論は、鏡療法のような視覚的なフィードバックを重要視するリハビリテーションのスクリーニング技術に繋がる可能性がある。そのため、今後さらなる研究の継続が必要である。

表 2 タスク達成度

No.	[%]	No.	[%]
1	8	9	33
2	33	10	5
3	30	11	22
4	38	12	36
5	27	13	25
6	22	14	19
7	30	15	30
8	33	16	25

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. 福森 聡, 五福明夫, 佐藤 健治, 丸尾 智子, 谷野 雅昭, ‘鏡療法使用時における運動イメージによる予測と視覚情報の不一致に関わる認知機能の解明’, 認知科学, vol. 23, no. 4, pp. 321-336, 2016. (査読あり)

〔学会発表〕(計 2 件)

1. 福森 聡, 山本 倫也, 広視野角 HMD による視覚情報提示による感覚運動と不快な情動の関係’, 第 63 回システム制御情報学会研究発表講演会, pp. 1235-1241, 2019.
2. 福森 聡, 加瀬 雄哉, 山本 倫也, ‘広視野角 HMD を用いた仮想の肢の視覚刺激が身体所有感に与える影響’, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017, GS12-4, 2017.

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。