

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700608

研究課題名（和文）触覚と3次元仮想空間を利用した運動学習における視覚と運動感覚の役割の解明

研究課題名（英文）A study of the role of haptic and visual sense in the motor learning using haptic information and three-dimensional virtual space

研究代表者

塗木 淳夫（NURUKI ATSUO）

鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：50336319

研究成果の概要（和文）：視覚的運動予測と触覚的運動予測に基づく運動予測の特徴を明らかにするために、脳活動を混乱させる非侵襲性手技である経頭蓋磁気刺激法（TMS）、触覚提示ロボット（把持力計測：GF）、バーチャル3次元空間を用いて研究を行った。その結果、視覚情報と運動学習・機能を研究するために有用で斬新な3Dバーチャル触力覚提示システムを開発することに成功した。さらに、開発したシステムを用いて、視覚的運動予測に基づく運動学習における運動皮質の興奮活動と運動力学的な把持運動の特性に関する基礎的な知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：We studied whether a conflict between vision and haptics in the previous lift has an effect on the force planning of the next lift using virtual objects. We quantified the grip force (GF) rate peak as a behavioral read-out of force planning and used transcranial magnetic stimulation (TMS) to probe corticospinal excitability (CSE). We successfully developed the 3D VR haptic system which allow to study motor learning and function. Furthermore, we showed that GF rate peaks were significantly changed after trial of a visuo-haptic conflict and CSE followed the same trend as the GF rate. Our results show that the motor system is capable to bias the sensorimotor memory by rapidly learning a new size-weight relationship.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション医学、TMS

## 1. 研究開始当初の背景

手で外界を探索したり、道具を操作したりする時、まず何を操作しているかという事と、手をどう動かしているかという事が認識されなければならない。物を掴み上げる時、その対象がなじみのものであれば、眼で見て重さは予測できるので、過去の記憶に基づいて、掴み上げる力をコントロール出来る。普通、物の操作はこのような記憶と予測でこなしているのであり、厳密な感覚フィードバック

によるものではない（Gordon et al. 1993）。未知のものでも、掴み操作を数回繰り返すと急速にこの記憶が確立する。この過程は、当然、感覚情報によっており、探索や操作の動作を続けるためには、個々の知覚が一時記憶されなければならない。頭頂連合野が、こうした視覚や触覚の一時記憶に関係しているかは興味ある問題である。Koch と Fuster (1989) は、サルを中心後回と、その後方の頭頂野 (5a 野) を調べ触覚短期記憶に関係すると思われ

るニューロンを見出した。Patrick (Science, 2009) によれば、運動前野と前補足運動野において準備された運動指令のコピー信号は頭頂葉におくられて、連続的な運動の感覚を予測するために使われていると報告している。また、背側皮質視覚路の後頭頂葉皮質 (PPC) は空間の認識と、物に手を伸ばすというような行動の指標となる働きがある事がわかってきている。

## 2. 研究の目的

(研究の全体構想) 本研究は、運動学習の違いによって、運動予測の記憶が脳のどの部位に収納されているかについて、脳活動を混乱させる非侵襲性手技である経頭蓋磁気刺激法 (TMS)、触覚提示ロボット、バーチャル 3 次元空間を利用して明らかにする。

(本研究の具体的な目的)

(1) 仮想空間における視覚的運動予測に基づく運動記憶が脳のどの部位に収納されているかについて、経頭蓋磁気刺激を行い解明する。

(2) 触覚提示ロボットとバーチャル 3 次元空間を利用した触覚的運動予測に基づく運動記憶が脳のどの部位に収納されているかについて、経頭蓋磁気刺激を行い解明する。

(3) 視覚的運動予測と触覚的運動予測に基づく運動予測の特徴を明らかにする。

## 3. 研究の方法

- (1) 視覚的運動予測に基づいて運動記憶される脳部位の解明
- (2) 触覚的運動予測に基づいて運動記憶される脳部位の解明について脳活動を混乱させる非侵襲性手技である経頭蓋磁気刺激法 (TMS)、触覚提示ロボット、バーチャル 3 次元空間を利用して、並行して行う。
- (3) 視覚情報と触覚情報による運動予測の特徴を明らかにし、運動予測の記憶が脳のどの部位において収納されるか解明する。

平成 23 年度 研究計画・方法

- ① 3D バーチャル触力覚提示システムを開発をメインとする。
- ② 空間上の物体と視覚情報が矛盾した視覚的歪みを生じさせ、その場合の視覚的運動予測に基づく運動学習を調査する。
- ③ 物体の物理情報が矛盾した触覚的歪みを生じさせ、その場合の触覚的運動予測に基づく運動学習を調査する。また、触覚的運動予測に基づく運動学習における予測反応時間を明らかにする。

平成 24 年度 研究計画・方法

バーチャル 3 次元空間を用いて、3 次元空間上の物体と視覚情報が矛盾した視覚的歪みを生じさせ、その場合の視覚的運動予測に

基づく運動学習を調査する。

## 4. 研究成果

視覚的運動予測と触覚的運動予測に基づく運動予測の特徴を明らかにするために、脳活動を混乱させる非侵襲性手技である経頭蓋磁気刺激法 (TMS)、触覚提示ロボット (把持力計測: GF)、バーチャル 3 次元空間を用いて研究を行った。その結果、視覚情報と運動学習・機能を研究するために有用で斬新な 3D バーチャル触力覚提示システムを開発することに成功した。触力覚・VR 環境システムを用いた物体把持システムを図 1-2 に示す。被験者は触覚デバイスのアームに、親指と人差し指を固定されることで、ロボットから触力覚を受ける事が出来る。また、3D モニタとハーフミラーによって、物体が目の前にあるかのように見る事が出来、映像と物体の位置を合わせることで物体に触った感覚を得る事が出来る。指の発揮力や位置座標も正確に計測する事が出来る (図 3, 4)。

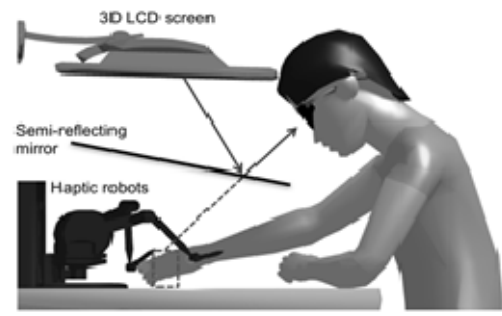


図 1 概略システム (触力覚デバイスと 3D モニタ)



図 2 実際の環境

把持力は、物体の重さによって変化するが、グリップフォース変化率 (Grip force rate) は、物体を把持する前の運動のプランニング (どの程度の力で握るかという予測) を反映している。図 3 左の結果が物体が小さくて軽い物体で図 3 右は大きくて重い物体の結

果を示す。

今回開発したシステムを用いて、視覚的運動予測に基づく運動学習における運動皮質の興奮活動と運動力学的な把持運動の特性に関する基礎的な知見を得ることができた。物体を握る場合、運動学習によって確立した運動記憶と実際の物体の視覚情報とを比較検討することによって物体把持のプランニングを行っているということが図5によって明らかとなった。VRシステムでの実験結果であるが、現実世界の物体把持と比較しても同様の結果であった図5 (b)。

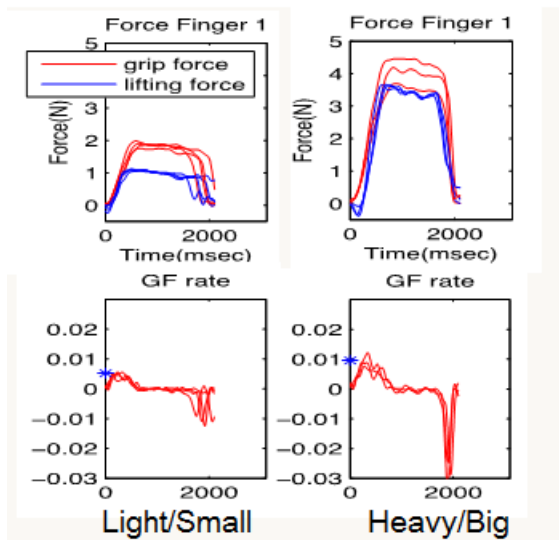


図3. 把持力とGF rate

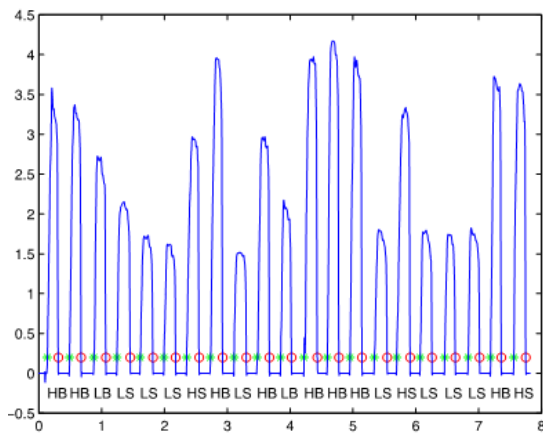


図4. タスクとグリップ力の変化

本研究での大きな発見は、運動記憶の更新が一回の運動記憶によって大きく影響を受けているということが実験結果によって示された。実験タスクにおいて、20%をこれまでに経験したことのない物体把持を行わせた。その直後の把持の仕方が大きく変わる事を発見した。つまり、ひとつ前の物体把持の

動作が急速に運動記憶の更新を行っているということである (図6)。

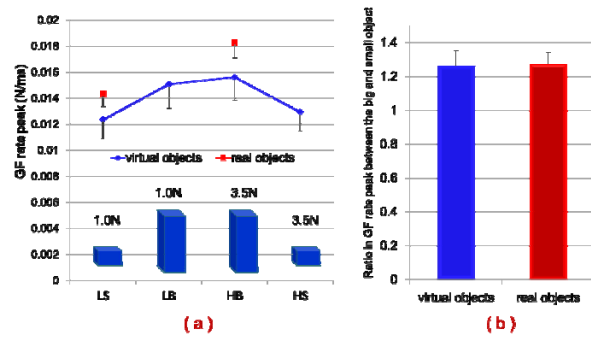


図5 GF ratepeak

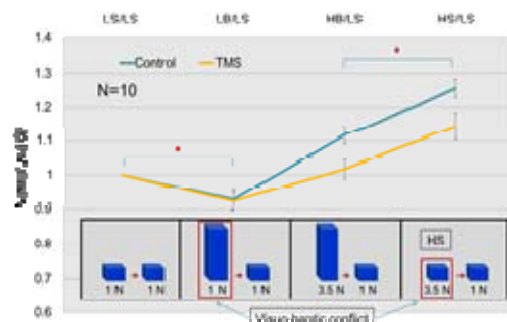


図6 運動学習とGF ratepeak

今後は、開発した本システムを空間的に拡張することによって、広い空間における運動学習の研究と現実的なリハビリテーション応用への発展が期待される。例えば、触力覚提示バーチャル環境技術を用いる事で、一般的な検査で異常を発見する事が難しい神経系疾患に対して有用な診断システムを開発可能である。または、ロボットを用いた触力覚知覚測定システム、バーチャル環境での物体操作システムも有用である。このようなマルチモーダル感覚入力に対する応答を正確に計測できるシステムの前例はなく、将来的にはリハビリテーション科学・福祉工学、スポーツ科学への市場展開を想定している。

## 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)

[学会発表] (計3件)

- ① 塗木 淳夫, 力覚デバイスと TMS を用いた運動時における触覚の特性についての研究, 磁気刺激法勉強会, 2013年3月30日(福岡).
- ② Marco Davare, Atsuo Nuruki, Roger N. Lemon, John C. Rothwell, Effect of visuo-haptic conflicts on grasping movements, Society for Neuroscience,

2012 年 10 月 13-17 日 (New Orleans, USA).

- ③ Atsuo Nuruki, Takuro Kawabata, Kazutomo Yunokuchi, Hiroki Hokazono, Atsuo Maruyama, Marco Davare, Roger N. Lemon, J.C.Rothwell, Rapid updating of sensorimotor memory in grasping virtual objects, Motor Control Workshop, 2012 年 6 月 21-23 日 (Aichi, Japan).

[その他]

ホームページ等

<http://www.ibe.kagoshima-u.ac.jp/~nuruki/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

塗木 淳夫 (NURUKI ATSUO)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：50336319