

令和元年6月20日現在

機関番号：25301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K21301

研究課題名(和文)非利き手が有する未知なる優位性に関する研究

研究課題名(英文)Research of non-dominant hand advantages in motor control

研究代表者

大山 剛史(Oyama, Takashi)

岡山県立大学・情報工学部・助教

研究者番号：40462668

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):本研究は認知や運動において非利き手が持つ未知の優位性について調べ、以下の三項目について明らかにした。(1) 上肢の姿勢制御において、非利き手は筋の共収縮を利用するため利き手よりも姿勢の維持に優れる。(2) 曲線をなぞる運動における速度と軌道の形状との関係について、左右どちらの手を使うか、左右どちらの視野で運動を行うかで変化する。(3) 視線よりも上に提示される動く視覚刺激に対して、向かってくる刺激は右足で、遠ざかる刺激は左足で反応しやすい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動制御における左右差の原因として筋の共収縮の違いを明らかにしたことで、利き手と非利き手で関節の剛性が異なることや、それに伴って運動を生成するために用いる制御の方式や最適な運動が異なることが予想される。運動における速度と軌道の形状との関係を用いて運動生成者を識別できたことから、ユーザー認証などへの応用が考えられる。刺激と左右の反応との対応について手足で比較した研究は少なく、本研究の成果は足を用いたユーザーインタフェースの改善につながるものである。

研究成果の概要(英文):This research investigated the unknown advantages of a non-dominant hand in cognition and motor control, and revealed following three points: (1) The non-dominant hand system performs better than the dominant hand system for postural control because of co-contraction of biceps and triceps. (2) The relation between velocities and curvatures of movements varies depending on which hand is used, and depending on which visual field is used. (3) For visual motion stimuli presented above the line of sight, participants can fast respond to coming/going stimuli by using right/left feet.

研究分野：人間工学、認知科学、運動解析

キーワード：利き手 運動制御 上肢運動 刺激反応適合性効果

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトの運動を解析する研究において、ほとんどの場合は利き手が用いられてきた。なぜならば、利き手の方が非利き手よりも優れた運動の性能を有しており、十分に熟練した運動を生成していると考えられてきたからである。従来の利き手と非利き手による運動の違いを調べる研究では、タスクの成否回数やタスク達成までにかかる時間などが簡単に比較されるだけであることが多かった。非利き手は利き手よりも運動において熟練の度合いが単純に低く、あえて詳細な計測と解析の必要はないと考えられてきていた。

利き手と非利き手の運動制御に関する旧来の観点では、利き手の方が非利き手よりも腕の状態をよく把握していたり、運動中の修正が優れているなど、運動において利き手の方が一方的に優位性を示していると考えられてきた。しかしながら、最近になって非利き手の方が良いパフォーマンスを示す運動タスクの存在が報告されてきている。非利き手の方が良いパフォーマンスを発揮できる運動タスクがあることは、運動における左右差は熟練の違いではなく、運動の特性によって左右の手を分業化させた結果であると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は、非利き手が有する未知の優位性が運動にもたらす効果を明らかにするために、以下に示す事項について調査した。運動中の筋の共収縮が利き手と非利き手でどのように違っており、またそれは運動の違いにどんな影響を与えているのか。左右の運動の違いを定量化して簡便に比較する方法の提案。運動や認知における四肢の左右差のユーザーインタフェースへの応用。

### 3. 研究の方法

- (1) 運動中の筋の共収縮の違い... 上肢の姿勢を固定する運動タスクを設定して、手先に負荷をかけたときの手先位置の変動、上腕二頭筋及び上腕三頭筋の表面筋電位を計測し、解析する。
- (2) 左右の運動の違いの定量化... 手先でだ円をなぞる運動タスクを設定して、手先の位置を運動軌道データとして計測する。得られたデータから軌道の速度と曲率を計算して、速度と曲率の関係性を定量的に評価する。
- (3) 運動や認知における四肢の左右差... 被験者に遠近に動く視覚刺激を提示して、右手/左手または右足/左足で反応する選択反応課題を設定する。刺激の提示から反応までの時間を計測して、左右の手足がどのような運動方向と認知的に対応しているかを調べる。

### 4. 研究成果

#### (1) 運動中の筋の共収縮の違い

健康な 20 代の被験者 6 名が実験に参加した。被験者は直立した状態で、床面に対して上腕を垂直に、前腕を水平に、手の平を上向きにして直径約 2.5 cm の木製の棒を握った姿勢で待機するように指示された。木製の棒には負荷として質量 1 kg のダンベルを紐で吊り下げており、吊り下げた状態から実験者がダンベルを約 33 cm 持ち上げて、落下させたときの被験者の上肢の運動を計測することを一試行とした。条件として、使用する腕(右手・左手) × 視覚条件(視覚あり・視覚なし)の 4 条件が設定され、各条件につき 10 試行が行われた。手先に負荷を与えたときの被験者の上腕二頭筋及び上腕三頭筋の活動を調べるために、表面筋電計(追坂電子機器社製)によって各筋の表面筋電位をサンプリング周波数 1000 Hz で計測した。被験者が握っている木製の棒に三次元位置計測装置(Flock of Birds, Ascension 社製)のセンサを取り付けて、被験者の手先位置をサンプリング周波数約 144 Hz で計測した。

手先に負荷を与えたときの手先の変動距離、手先が変動してから元の姿勢に復帰するのにかかる時間、上腕二頭筋・三頭筋の表面筋電位の積の和(共収縮の評価に用いる)を各条件について解析した。

使用する腕(右手・左手) × 視覚条件(あり・なし)を要因とした分散分析の結果、手先の変動距離については使用する腕 × 視覚条件の相互作用は有意ではなく( $p = .957$ ) 左右の腕による違いは見られなかった。一方、手先姿勢の復帰時間では使用する腕 × 視覚条件の相互作用が有意であり( $p < .001$ )、上腕二頭筋・三頭筋の筋電位の積の和について

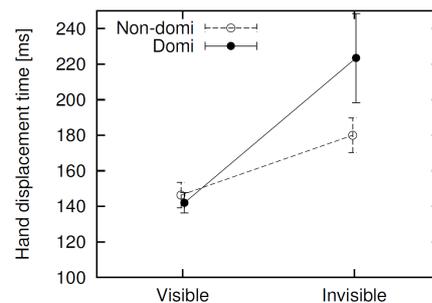


図1 手先に負荷を与えたときの手先姿勢の復帰時間の左右差

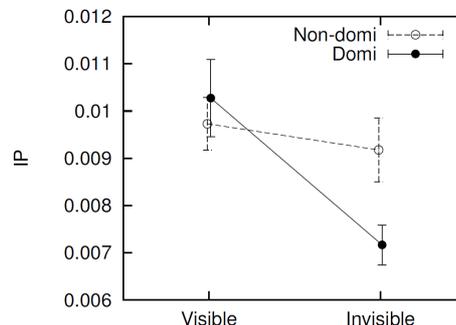


図2 上腕二頭筋・三頭筋の筋電位の積の和の左右差

も同様に使用する腕×視覚条件の相互作用が有意であった ( $p < .05$ )。図 1, 2 に手先姿勢の復帰時間、上腕二頭筋・三頭筋の筋電位の積の和の平均及び標準誤差を示す。

運動中に視覚情報が与えられず、体性感覚のみで運動を制御するとき、非利き手の方が外乱に対する修正が早く、その理由として非利き手の方が筋の共収縮を積極的に使っていることが示唆される。運動において筋を共収縮させることは消費エネルギーの観点からいうと不利であるが、一方で関節の剛性を高めて不測の外乱に強固な特性を示すことができる。

## (2) 左右の運動の違いの定量化

健常な右利き手、右利き目の 20-30 代の 6 名 (うち 1 名は実験者と同一) が被験者として実験に参加した。被験者は机を前に椅子に着席してセンサを取り付けたペンを持ち、机の上でだ円を生成するように指示された。だ円のサイズは短軸 4 cm、長軸 15 cm で、被験者から見て横に長い形状をしており、だ円を印刷した紙が机の上に貼り付けられ、被験者は紙に印刷されただ円の経路をなぞるようにして運動を生成するように指示された。生成する運動が右視野または左視野に映るようにするため、被験者の運動位置は右半身側または左半身側に設定された。被験者が持つペンに取り付けたセンサの位置を三次元位置計測装置 (LIBERTY, POLHEMUS 社製) によってサンプリング周波数 240 Hz で計測した。

ヒトがだ円運動を生成するとき、速度  $v$  と曲率  $c$  との間に、 $\log(v) = \log|c| +$  の回帰が成り立ち、更に、運動が滑らかに行われることで  $\log(v)$  の値は約  $-1/3$  になることが知られている。これを踏まえた上で条件ごとに回帰式の  $\log(v)$ 、回帰の相関係数  $R$  を調べた。加えて、運動のばらつきが軌道や速度を周波数成分によって評価できることを期待してそれらの解析を行った。

表 1 に使用する腕 (右手・左手) × 運動位置 (右視野・左視野) を要因として分散分析を行った結果を示す。軌道及び速度の周波数成分については一貫した傾向が見られず、主効果や相互作用もほとんどの条件で有意ではなかった (表では省略)。運動時間、 $\log(v)$ 、 $R$  を左右で比較すると、利き手の方が運動時間が短く、 $\log(v)$  の値は  $-1/3$  に近く、 $R$  の絶対値が 1 に近かった。また、 $R$  の値は運動位置でも異なるものであり、このことはヒトの運動における速度と曲率の関係が単なる質点の移動に関する式から導かれるものではなく、腕の姿勢や左右の認知なども関連し得ることを示唆している。

副次的な結果として、 $R$  の値は運動を生成するとき使用する腕と、運動を生成する半身位置とで変化するものであり、かつ、それらの条件を組み合わせると解析した変化の様相には個人に依存するような傾向が見られた。そのため、条件ごとの  $R$  の値の変化によって運動データからの運動行為者の推定を行ったところ、本実験で用いた 6 名の被験者については、運動行為者をほぼ正しく推定することができた。

速度と曲率との間に一定の関係が成り立つことは知られていたが、本研究はその関係性が利き手と非利き手で生成する運動で差があることを明らかにした。

表 1 だ円運動における使用する腕 × 運動位置を要因とした分散分析

	使用する腕	運動位置	腕 × 運動位置
運動時間	***	$p = .407$	**
	*	$p = .464$	+
R	*	*	+

\*\*\*:  $p < .001$ , \*\*:  $p < .01$ , \*:  $p < .05$ , +:  $p < .1$

## (3) 運動や認知における四肢の左右差

20 代の健常な被験者 8 名が実験に参加した。被験者の利き手及び利き足はすべて右だった。被験者の視線から上と下にそれぞれ水平にボードを設置し、このボードに短焦点プロジェクタ (SONY 社製) によって刺激を提示した。被験者は装置に向かって椅子に着席した状態で実験を行った。被験者は頭部を台で固定するように指示された。被験者の手による反応にはキーボードを、足による反応にはフットペダルを用いた。ボード上の投影面において幅が約 2.67 cm、高さが約 5.36 cm の長方形の視覚刺激を提示した。視覚刺激は約 167.39 cm/s の速度で投影面中央から被験者に対して遠近のいずれかに向かって移動した。刺激が視線よりも上の条件 (Ceiling 条件) ならびに下の条件 (Floor 条件) のそれぞれについて、刺激の運動方向 (近づく or 遠ざかる) × 刺激の色 (赤 or 緑) の 4 条件を設定し、各条件につき 50 試行の計 200 試行がランダムな順番で被験者に課せられた。100 試行が終わると被験者には 5 分間の休憩が与えられた。Ceiling 条件で 200 試行を行い、5 分間の休憩の後に Floor 条件で 200 試行を行った。刺激を提示する高さを変えて Ceiling 条件と Floor 条件とを設定したのは、奥行き方向における刺激の運動方向が網膜上において視線の高さを境界として上下反転するため、両条件において被験者の反応に差が生じ得ることを想定したためである。

刺激の提示から被験者が反応するまでの時間を反応時間として計測・解析した。被験者の刺激と反応の認知的な特性が一致しているとき、そうでないときよりも反応時間が短くなる。例えば、右側に提示された刺激は右側のスイッチで反応した方がそうでないときと比べて反応時間は短い。したがって、もし刺激の運動方向 (近づく or 遠ざかる) と反応に用いる手足の左右との間に認知的な特性があるならば、当該の条件においてそうでないときよりも反応時間が

短くなることが予想される。解析として、反応時間について反応に用いた手足（右手足・左手足）×運動方向（近づく・遠ざかる）を要因とする分散分析を行った。

手で反応したとき、Ceiling 条件と Floor 条件のいずれでも反応に用いた手×運動方向の相互作用は有意ではなく（いずれも  $p > .05$ ）手の左右と近づく/遠ざかる視覚刺激の運動方向との間に認知的な対応は見られなかった。また、相対的に近い/遠い場所に固定視覚刺激を提示する条件でも同様に Ceiling 条件と Floor 条件のいずれでも反応に用いた手×運動方向の相互作用は有意ではなかった（いずれも  $p > .05$ ）。一方、足で反応するときは Ceiling 条件において反応に用いた足×運動方向の相互作用は有意であり（ $p < .001$ ）右足は近づく刺激に、左足は遠ざかる刺激に対して反応時間が有意に短かった（いずれも  $p < .001$ ）。しかしながら、Floor 条件では反応に用いる足×運動方向の相互作用は有意ではなかった（ $p > .05$ ）。

被験者に近づく/遠ざかる視覚刺激に対して足で反応するとき、刺激が視線よりも上に提示される条件においては右足は近づく刺激と、左足は遠ざかる刺激と認知的に対応しており、そうでない条件よりも早く反応できることが明らかになった。一方、刺激が視線よりも下に提示される条件ではそのような認知的な対応は消滅した。その理由としては、網膜上に映る刺激の運動方向について、視線を境界として遠近と上下の方向が反転することが考えられる。先行研究において上方向の刺激は右側と、下方向の刺激は左側と対応していることからこの仮説は妥当なものである。しかしながら、手を反応に用いるとき、刺激の提示位置にかかわらず刺激の運動方向と反応の左右との間に反応時間が短くなる対応は確認できなかった。手と足は身体において左右対称に備わる効果器であるが、両者の間には必ずしも同一ではない認知的な特性が隠されていることが予想される。

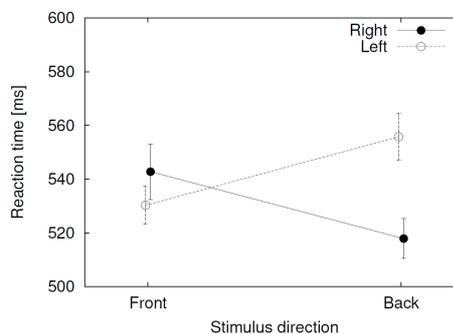


図3 足による反応での Ceiling 条件

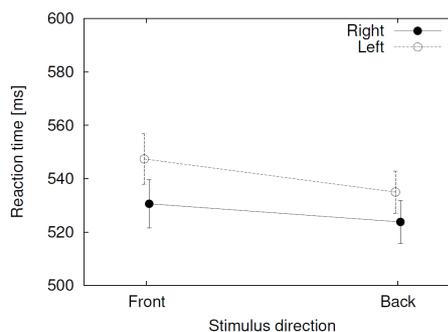


図4 足による反応での Floor 条件

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- [1] 大山剛史, “だ円運動におけるべき乗則の左右差と個人差,” 電子情報通信学会論文誌 D, vol.J100-D, no.4, pp.580-583, 2017. (査読有)
- [2] 大山剛史, 池田大典, 迫明仁, “上肢姿勢固定における二関節筋の共収縮の左右差,” 電子情報通信学会論文誌 D, vol.J98-D, no.10, pp.1344-1351, 2015. (査読有)

〔学会発表〕(計8件)

- [1] T. Oyama, M. Ayabe, Y. Inukai, S. Saito, J. Takato, and A. Sako, “Stimulus-response compatibility effects in foot responses to visual motion stimuli along the vertical and sagittal axes,” IEEE SMC 2018, pp.2962-2967, 2018.
- [2] T. Oyama, “Minimum torque change model vs. power law for elliptic movements,” ICCBES 2017, pp.11-18, 2017.
- [3] 大山剛史, “上肢運動におけるラテラルリティに関する研究,” 川崎医科大学学術集会, 2016.
- [4] 葛間大樹, 大山剛史, 迫明仁, “主動筋・拮抗筋構造を有する単関節の運動,” 第18回 IEEE 広島支部学生シンポジウム (IEEE HISS 2016), pp.435-437, 2016.
- [5] T. Oyama, A. Sako, “Difference in bi-articular muscle during postural fixation between dominant and non-dominant arms,” IIAI-AAI 2015, pp.707-708, 2015.

〔図書〕(計0件)

(該当なし)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

名称:(該当なし)

発明者:

権利者:

種類:

番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：（該当なし）

発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<https://gdata.oka-pu.ac.jp/profile/ja.9d88b511aab73c7988098bf34185996d.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：（該当なし）

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：（該当なし）

ローマ字氏名：

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。