

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350701

研究課題名(和文) 二肢協調動作の制約因子と動作制御能力及び神経機構との関係

研究課題名(英文) Relationship between constraint in two-limbs coordination and behavioral and neural control mechanisms

研究代表者

村岡 哲郎 (MURAOKA, Tetsuro)

日本大学・経済学部・准教授

研究者番号：30398929

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：人は両手を使って様々な複雑な動作を巧みに行うことができます。しかし、片手ずつであればできる非常に簡単な動作であっても、両手で同時に行おうとすると非常に困難であったり、できなくなることがあります。本研究は、動作の中に含まれる特徴的な局面に注目し、人はそうした局面を同期させることはうまくできるけれども、ずらして行うことは困難に感じ、いつのまにか同期してしまうことを明らかにしました。

研究成果の概要(英文)：People can skillfully perform various complicated movements using both hands. However, even if it is a very easy movement that can be done with one hand, it may be very difficult or impossible to do it simultaneously with both hands. In the present research, we focused on the salient movement phase included in the movement. We showed that people can successfully synchronize such salient movement phases, and that it is difficult to perform while desynchronizing salient movement phases.

研究分野：運動神経生理学

キーワード：協調動作 知覚目標

1. 研究開始当初の背景

(1) 周期的二肢協調動作は、特定の動作組合せによらずに二肢動作が鏡像(同)方向となる動作で常に安定することから(Muraoka et al., Neurosci Res, 2013), 二肢協調動作は動作方向の制約を受けると考えられてきた。ただし、両示指屈伸の協調動作は動作組合せの制約を受け(両示指で同じ動作をする時に常に安定)、動作方向の制約を受けないことが例外的に示されており(Riek et al., J Hum Mov Stud, 1992), その理由は不明であった。

(2) 関節動作には特徴的的局面を持つ動作と持たない動作がある。特徴的的局面の有無により二肢協調動作を制約する因子(動作方向, 動作組合せ)が異なる可能性が示唆されているが、十分に研究されていない。

2. 研究の目的

(1) ある二肢協調動作が動作組合せ(特徴的的局面の動作タイミング)の制約を受けるとしても、その協調動作の制御において方向制御の役割が小さいとは言えない(逆も同様)。単純反応課題(予め決められた単一の刺激に対して、決められた動作を開始する)を用い、手指関節と手首関節を用いた二肢協調動作を対象として、反応時間の観点から、二肢協調動作制御における制約について明らかにすることを目的とした。

(2) 特徴的動作局面を1つだけ持つ関節動作におけるその特徴の顕著さの程度には個人差があると考えられる。そうした個人差が、各被験者の二肢協調動作安定性の違いにどのように影響するかを明らかにすることを目的とした。

(3) 指のタッピングは、タップする局面を特徴的動作局面と捉えることができる。2指で交互にタッピングをする時にいずれかのタッピングと音を同期させる時の安定性が、各指におけるタッピングの特徴の顕著さの程度の違いとどのように関係するかを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者12名(男性6名, 女性6名)を対象として、聴覚刺激に対して決められた動作を行う単純反応課題を行った。対象とする関節動作は示指内転-外転動作と手関節内転-外転動作とした。被験者は、両示指, 両手関節, 示指と手関節の3種の動作関節組合せ, 及び、鏡像動作と非鏡像動作の2種の動作方向を組み合わせた12種の二肢動作と8種の一枝動作を行い、反応時間を測定した。

(2) 被験者20名(男性17名, 女性3名)を対象とし、周期的一枝動作(前腕回内・回外, 示指屈曲・伸展)の特定動作局面(屈曲, 伸展, 回内, 回外)を音に合わせて行う課題

と、それら一枝動作を組み合わせた二肢協調動作の課題を行わせ、動作安定性を位相差の標準偏差の点から調べた。

(3) 被験者13名(男性8名, 女性5名)を対象として、片手の指2本(示指と中指, または、中指と薬指)でのタッピングと音を合わせた時の安定性と、それらを両手で組み合わせた両手タッピングをペース音無しで行った時の安定性の関係を調べた。安定性の指標は位相差の標準偏差とした。

4. 研究成果

(1) 両示指, 両手関節, 示指と手関節の3種の動作関節組合せ, 及び、鏡像動作と非鏡像動作の2種の動作方向を組み合わせた12種の二肢動作と8種の一枝動作を行った結果、いずれの動作関節組み合わせにおいても鏡像動作と非鏡像動作の間に有意な反応時間の差は認められなかった。この結果は、単純反応課題においては特定の動作関節組み合わせが反応時間に強く影響することを示した先行研究の結果(Obhi and Haggard, 2004)と異なる。こうした違いが生じた原因としては、先行研究においては特徴的動作局面をもつとされる示指の屈曲-伸展動作を用いているが、本研究で用いた関節動作(示指の内転-外転動作と手関節の内転-外転動作)では特徴的動作局面がないために特徴的動作を同期させるという自発的な知覚的目標は生じず、そのため単純反応課題において関節動作の違いによる反応時間の差が認められなかったことが考えられた。

(2) 特徴的動作局面を1つだけ持つ前腕回内・回外動作と示指屈曲・伸展を対象に、被験者による特徴の程度の違いが、各被験者の二肢協調動作安定性の違いにどのように影響するかを調べた。その結果、左前腕回内・

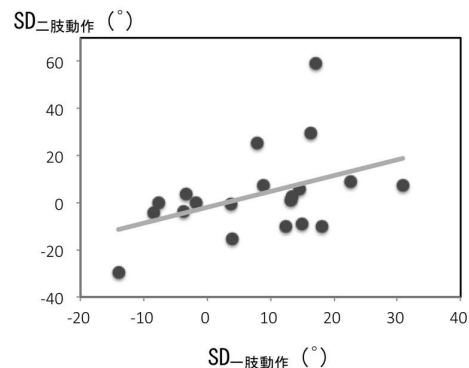


図 1. 左前腕回内・回外(肩及び肘関節は解剖学的肢位)と右示指屈曲・伸展の一枝動作と二肢動作の安定性の関係

一枝動作安定性(SD_{一枝動作})の特徴の程度が高い(値が大きい)ほど、二肢動作は特徴的局面の同期(SD_{二肢動作}; 値が大きいほどその傾向大)を指向する。(p<0.05)

回外（肩及び肘関節は解剖学的肢位）と右示指屈曲・伸展を行う二肢協調動作において、特徴の程度が高いほどそうした特徴的動作局面を同期させるように二肢協調動作が安定する傾向が強いことが示された（図1）。

しかし、左腕肢位を解剖学的肢位から肩関

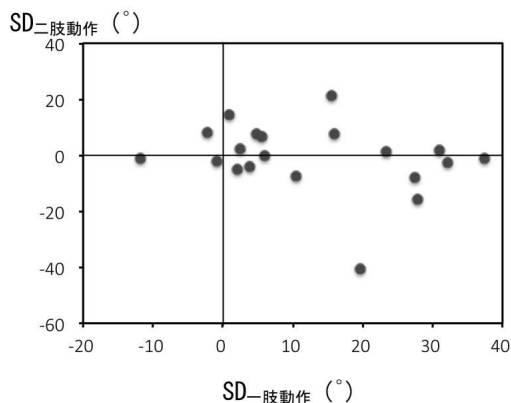


図 2. 左前腕回内・回外（肩及び肘関節はそれぞれ解剖学的肢位から 30 度, 120 度屈曲）と右示指屈曲・伸展の一肢動作と二肢動作の安定性の関係

一肢動作安定性（SD_{一肢動作}）の特徴の程度と二肢動作における特徴局面の同期傾向との間には有意な相関関係が認められなかった。

節 60 度屈曲、肘関節 120 度 屈曲した肢位（前腕は垂直）に変化させたところ、図 1 で見られた傾向は認められなかった（図 2）。その原因として、網膜座標系における左右対称性が、後者の条件では影響したことが考えられる。左腕を解剖学的肢位にした前者の条件において、正面を向いた場合には左腕の動きは視野外となる。これにより、前者の条件では運動方向の影響を受けにくく、特徴的動作局面の影響が現れやすかったかもしれない。一方、後者の条件では、左腕は目前で動作させるため、左右対称性を指向する傾向の影響を受け、特徴的動作局面の影響が現れにくかったと推察された。

左右で同一関節動作（左右共に前腕回内・回外あるいは示指屈曲・伸展）を用いた場合においても、図 1 で認められたような一肢動作における特徴的動作局面の特徴の程度と二肢協調動作における特徴的動作局面の同期指向の程度の間には有意な相関関係は認められなかった（図 3）。左右同名筋間には密接な神経接続があり、一方の筋活動は対側同名筋を支配する大脳皮質一次運動野の興奮性を高めることが知られている（Tazoe & Komiyama, 2014）。こうした神経回路が、左右同一関節を用いた時の二肢協調動作における特徴的動作局面の程度の違いの影響を小さくしてしまっている可能性が考えられた。

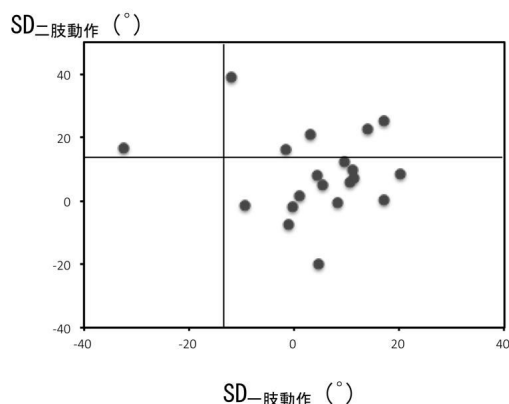


図 3. 左右前腕回内・回外の一肢動作と二肢動作の安定性の関係

一肢動作安定性（SD_{一肢動作}）の特徴の程度と二肢動作における特徴局面の同期傾向との間には有意な相関関係が認められなかった。

(3) 左右それぞれの手で 2 指でのタッピングを行う時の動作安定性は、多くの二肢協調動作研究によって得られた知見と異なる。先行研究では、二肢協調動作は左右対称性といった（知覚的）動作方向や、同名筋筋活動の同期といった神経筋回路の重要性が指摘されてきた。しかし、左右 2 指タッピングはそのどちらも当てはまらない。本研究では特徴的動作局面に注目し、対象動作に依存しない統一的説明を打ち立てるために実験を行った。まず、左右それぞれで異なる 2 指での交互タッピングを音に合わせて行った。この時 2 指いずれかのタッピングと音を同期させるという条件で動作を行うことで、タッピングという特徴的動作局面の特徴の程度が指に

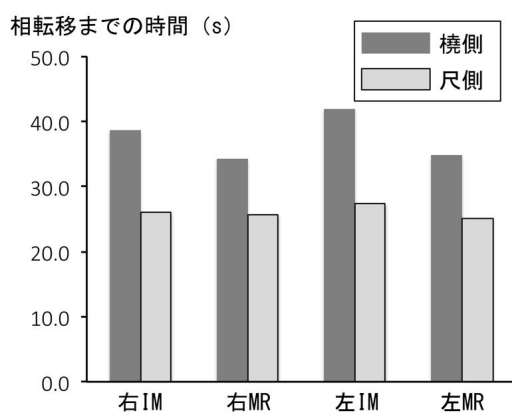


図 4. 片手 2 指タッピングの安定性

左右それぞれで示指と中指（IM）および中指と薬指（MR）の組み合わせで交互のタッピングを行う時、解剖学的肢位でより橈側の指でタッピングと音を合わせる時により安定する。（いずれの組み合わせも $p < 0.05$ ）

よりどのように異なるかを調べた。その結果、左右いずれの手においても、示指>中指>薬指の順で特徴の程度が大きいことが示された(図4)。

次に、左右共に IM, 左右共に MR, 左が IM で右が MR, 左が MR で右が IM という4つの組み合わせで両手2指タッピング課題を2つの前腕位置(両前腕とも回内位, 左前腕位は回内で右前腕位は回外位)行ったところ, 左右共に同一の指組み合わせの場合, 前腕位置によらず, 鏡像・非鏡像という方向ではなく, より特徴の程度が大きい指でのタッピングを同期させる時に動作が安定することが示された(図5)。指組み合わせが左右で異なる

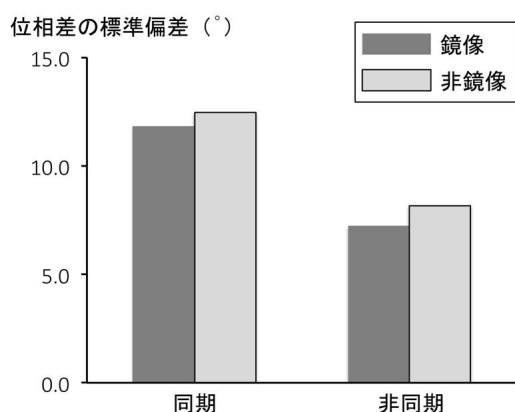


図5. 両手2指タッピングの安定性

示指と中指の組み合わせで交互のタッピングを行う動作を左右同時に行う時, 鏡像・非鏡像という方向ではなく, 特徴の程度が大きい示指タッピングを同期させる協調パターンが示指タッピングが交互になる非同期パターンよりも安定する。(p<0.05)

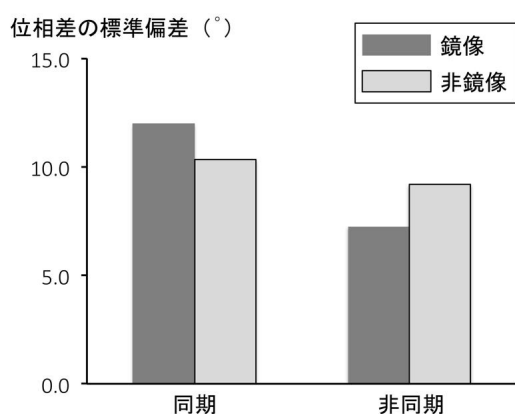


図5. 両手2指タッピングの安定性

左示指と中指, 右中指と薬指の組み合わせで両手2指タッピングを行う時, 鏡像・非鏡像という方向ではなく, 特徴の程度が大きい示指タッピングを同期させる協調パターンが示指タッピングが交互になる非同期パターンよりも安定する。(p<0.001)

時においても, 左右の手それぞれの指組み合わせでより特徴の程度が大きい指タッピングを同期させる時に動作は安定し(位相差の標準偏差は減少), 鏡像・非鏡像といった動作方向の有意な影響は認められなかった(図6)。

以上の実験結果から, 二肢協調動作を行う時に協調が安定する動作パターンは, 用いる関節動作の種類によらず, 各肢の動作に一つの特徴的動作局面がある時にはそれを同期させるパターンで協調動作が安定し, いずれか一方の肢に特徴的動作局面がない時には, 鏡像(同方向)動作で協調動作が安定することが示された。

安定する協調動作パターンとはすなわち行いやすい動作ということである。動作に含まれる特徴的動作局面に注目することで, 複雑な動作を行いやすくしたり, 動作ミスが発生しやすい協調動作をミスしにくい協調パターンに変えるといったことが可能となることを本研究結果は示唆した。こうした知見は発育発達や加齢, 障害等における二肢協調動作制御能力の変化をより詳細に評価する方法の創出などにつながることを期待される。

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)

〔雑誌論文〕(計 1件)

Tetsuro Muraoka, Kento Nakagawa, Kouki Kato, Weihuang Qi and Kazuyuki Kanosue. Interlimb coordination from a psychological perspective, The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 査読無, 5巻, 2016, 349-359
DOI: 10.7600/jpfsm.5.349

〔学会発表〕(計 1件)

村岡 哲郎, 特徴的動作局面が二肢協調動作の安定性に及ぼす影響, 日本体育学会第67回学会大会, 2016年8月25日, 大阪体育大学(大阪府泉南郡熊取町朝代台1番1号)

〔その他〕

ホームページ等

http://www.eco.nihon-u.ac.jp/eco_kyouin/muraoka/research/research.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村岡 哲郎 (MURAOKA, Tetsuro)

日本大学・経済学部・准教授

研究者番号: 30398929

(4) 研究協力者

ステファン スウィネン (Stephan, Swinnen)