

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330170

研究課題名(和文)自動的および随意的運動リズム制御の神経メカニズムの解明

研究課題名(英文)Study on the mechanisms of the automatic and intentional motor rhythm control

研究代表者

宮地 重弘 (Miyachi, Shigehiro)

京都大学・霊長類研究所・准教授

研究者番号：60392354

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)：意図せずにリズムに「乗る」メカニズムを明らかにするため、ヒト及びサルを対象に、繰り返し提示される視聴覚刺激に対して出来るだけ早くボタンを押す連続反応時間課題を用いて行動実験を行なった。刺激のリズムが一定の場合、ヒト、サルともに、ボタン押しを刺激によく同期させた。刺激間隔が偽ランダムに組み合わされたランダム条件でも、刺激が数回リズムカルに提示されると反応時間が短縮した。一定のリズムの後で間隔が長くなると反応時間が延長した。間隔がより短くなった場合は、反応時間は先行するリズムの影響を受けなかった。以上より、両種において、刺激に反応する運動とリズムに乗った運動が独立に制御される可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：When humans repeat simple actions, we often get to the rhythm. To better understand this phenomenon, performance of repetitive reaction time task was examined in humans and a macaque. In both species, button press was synchronized with the cue in the “rhythmic condition”, in which all the inter-onset interval (IOI) was identical. In the “random condition”, in which three IOIs were pseudorandomly mixed, the reaction time was shortened when the same IOI was repeated. If a longer IOI was preceded by repetition of a shorter IOI, the reaction was delayed in both species. However, if a shorter IOI was preceded by a rhythm of a longer IOI, the RT was not influenced by the preceding rhythm. These results suggest that 1) when a simple action such as the button press is repeated, the action was entrained to the cue rhythm in humans and also in macaques, and 2) mechanisms for the rhythmic motor control and for the control of stimulus-induced discrete action would be rather independent.

研究分野：神経生理学、神経解剖学

キーワード：運動リズム 時間 随意運動 運動制御

1. 研究開始当初の背景

(1) 運動リズム制御の神経メカニズムについては、近年急速に研究が進んできた。とくに人を対象にした、機能的イメージング法を用いた研究が幅広く行われ、その結果、前頭葉皮質、大脳基底核、小脳等の運動関連の脳領域の重要性が示されてきた。

(2) しかし、これまで研究の対象になっていたのは主に意識的な運動リズム制御である。単純な運動を連続して行っていると意図せずしてリズムに「乗る」ことがある。このような現象は、日常生活の中ではしばしば経験される。科学的には、このような現象はこれまで主にコミュニケーションの文脈で捉えられ、個人間の運動リズムの同調の研究が行われてきた。しかし、コミュニケーション場面でなくとも、外的ななんらかのリズムが知覚されれば、運動リズムの同調は生じる。この現象については、まだ十分な研究がなされていない。

2. 研究の目的

随意運動の制御において、リズムは重要な要素である。ヒトは運動リズムを自分の意志で制御することも出来るが、意図せずしてリズムに「乗って」しまうこともある。これらの随意的および不随意的(自動的)な運動リズム制御の神経メカニズムを明らかにすることが、本研究の目的である。ヒトおよびサルを対象に、単純なボタン押しを繰り返す行動課題を行わせ、随意的なリズム制御の可能な条件および自動的なリズム制御が起こる条件を明らかにする。また、パーキンソン病において運動リズムの障害が起こることが知られているため、パーキンソン病に深く関わる神経伝達物質ドーパミンに注目し、サルにおいて、ドーパミン受容体の活性を薬物の注入によって操作し、運動リズム制御に与える影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 21歳～49歳の健常成人17名を対象に、連続反応時間課題を行わせた。被験者のうち8名は過去に5年間以上、継続的に楽器演奏の訓練を受けており(音楽訓練群)、9名はそのような訓練を受けていなかった(非訓練群)。被験者は、ビープ音とともにパソコン画面上に繰り返し提示される視覚刺激に反応してできるだけ早くボタンを押すことを求められた。課題は、ブロックごとに2つの異なる条件で行われた。「ランダム」条件では、1試行あたり11回提示された。16試行で1ブロックとし、各ブロックにおいて3種類の刺激間隔(inter-onset interval, IOI)を組み合わせて用いた(600/900/1200 ms, 600/900/1500 ms または 900/1200/1500 ms)。これらのうち900 msのSOAの直後の刺激に対する反応時間を主な解析対象とした。IOIが他の長さから900 msに変わった後の最初の刺激に対する反応時

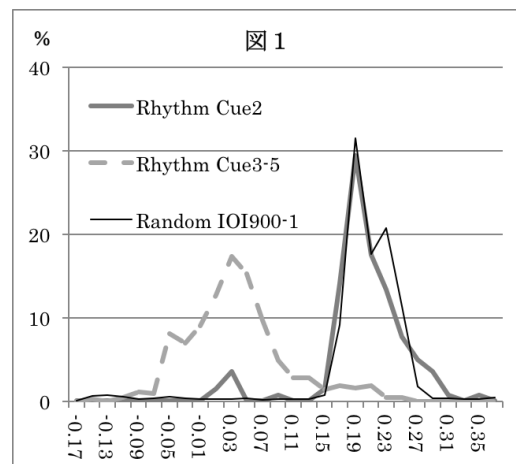
間、900 msが2回、3回、4回繰り返された後の刺激に対する反応の反応時間の被験者ごとの中央値(med-RT)を比較した。被験者間で条件を一定にするため、900 msのIOI(101900)が2～4回繰り返される試行がどのブロックにも一定の割合で含まれ、5回以上は連続しないようにした。被験者には、刺激の間隔はランダムであると説明した。この課題は単純反応時間課題であるため、ときとして被験者は刺激が提示されていないときにボタンを押すこともあったが、被験者にはそのような場合でもそのまま課題を続行するように指示した。「リズムック」条件では、1試行あたり刺激が5回提示された。試行開始から第1刺激提示までの時間はランダムであったが、その後は900 ms間隔でリズムカルに提示された。被験者は、リズムカルな刺激にボタン押しを同期させるように教示された。

(2) ニホンザル1頭を対象に、ヒトと同様のボタン押し課題(ランダム課題およびリズムック課題)を行わせた。

4. 研究成果

(1) ヒトを対象とした研究

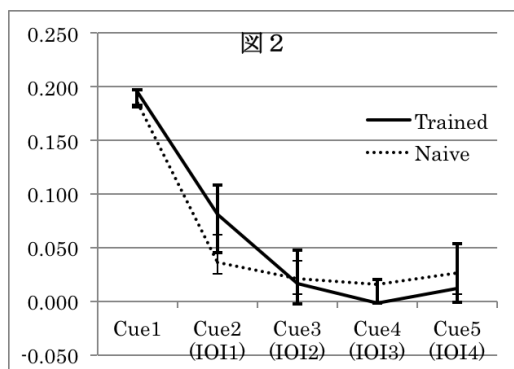
リズムック条件では、各試行の2番目の刺激(Rhythm Cue 2すなわち、最初の900 ms IOIの後の刺激)に対する反応時間(中央値)はランダム条件の各試行で初めて900 msのIOIが現れた場合(Random IOI900-1)とほぼ一致したが、その後、同じリズムでボタン押しを続けると(Rhythm Cue 3-5)、反応時間は有意に短縮した(図1)。



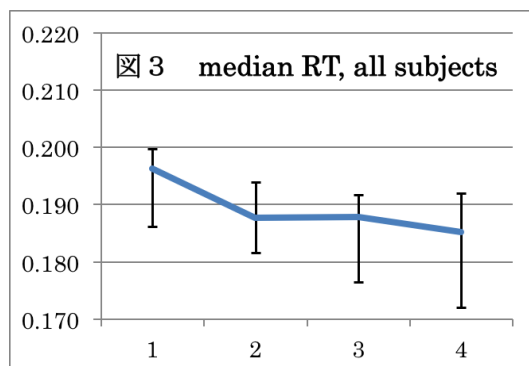
この反応時間の分布から、反応時間が150 ms以下のボタン押しを「予測的」ボタン押し、それを超える反応時間のボタン押しを「反動的」ボタン押しと定義した。

リズムック課題における反応時間の各試行内での推移を音楽訓練群と非訓練群とに分けて解析した(図2)。いずれの群でも1試行の中でボタン押しを繰り返すことによって反応時間が短縮した。しかし、その短縮のパターンは、両群で異なっていた。音楽訓練群では、第1刺激から第2刺激、第3刺激

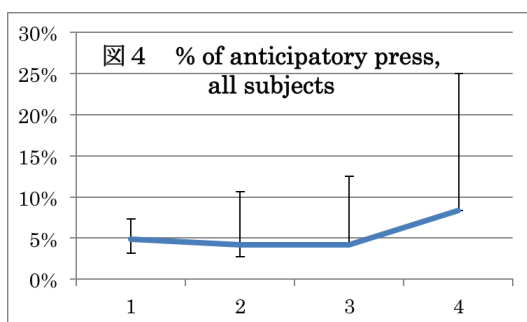
と段階的に反応時間が短縮したのに対し、非訓練群では、第2刺激において大幅な短縮がみられ、その後のボタン押しでは有意な短縮は見られなかった。このことから、音楽訓練群は、非訓練群に比べて、運動リズムを外部の刺激のリズムに合わせる傾向が強いのに対し、非訓練群では、それまでの試行で記憶したリズムに従って運動リズムを作る傾向が強いと考えられる。



ランダム条件においても、試行途中で 900 ms の IOI が 1 回～4 回繰り返すと、繰り返しの回数が増えるに従って反応時間が短縮した (図 3)。



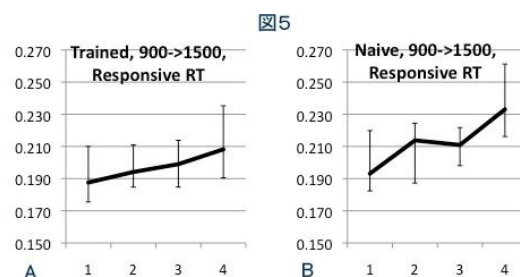
また、刺激に対する反応とは考えられない、反応時間 150 ms 以下の「予測的」ボタン押しも増加する傾向が見られた (図 4)。



なお、これらの傾向は、音楽訓練群で、非訓練群よりも強く現れた。このことから、刺激のリズムが予測できない状況であっても、音楽訓練を受けた人は、突然現れた一定のリズ

ムに運動を同期させる傾向が強いことが示唆された。

900 ms の IOI が繰り返された後、IOI が 1200 ms に変化すると、音楽訓練群、非訓練群ともに、先行する 900 ms の IOI の繰り返しによって反応時間が延長した。これは、刺激のリズムによって自動的に誘導された運動リズムを、被験者が抑制しようとするために生じる現象であると考えられる。IOI が 900 ms から 1500 ms に変化した場合は、非訓練群のみで反応時間の有意な延長が見られた (図 5 A, B)。これは、刺激リズムによる運送リズムの誘導、及びその抑制のタイミング制御が、音楽訓練群では非常に正確であるのに対し、非訓練群では制御が比較的不正確で、長期間にわたって運動抑制が持続するためであると考えられる。



なお、600 ms の IOI については、先行する 900-ms IOI のリズムによって、反応時間が影響を受けなかった。このことから、リズムカルな運動が誘導されても、刺激に対する反応自体は阻害されないと考えられる。

以上の結果から、以下のことが示唆された。ヒトが単純な運動を繰り返しているときに、外部の刺激にリズムが現れると、意図していなくても、運動を刺激のリズムに同期させる傾向がある。その傾向は、音楽の訓練によってより強まる。リズムカルな運動制御の機構と刺激に対する反応の制御機構は独立である可能性がある。

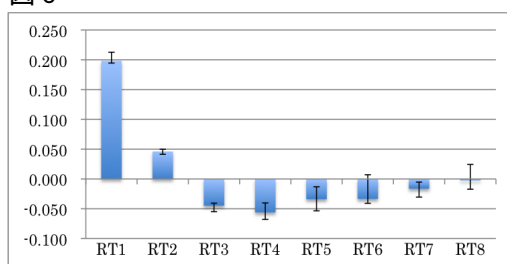
(2) サルを対象とした研究

ヒトは等間隔リズム刺激に運動を同期させる能力に優れ、きわめて正確にタイミングを一致させることができる。また、運動のタイミングが刺激のタイミングにわずかに先行する傾向があること (mean negative asynchrony) が知られている。しかし、サルを対象とした先行研究 (Zarco et al., 2009; Konoike et al., 2012) では、このような現象は観測されていない。これらの実験結果は、サルには運動を刺激リズムに同期させる能力が無いと解釈されてきた。しかし、これは運動を同期させる能力の問題ではなく、同期させようとする動機付けが無いためかもしれない。本研究では、等時間間隔で 1 試

行あたり7回提示される視聴覚刺激に対してボタンを押す課題をサルに訓練した。その際、刺激の onset にボタン押しが同期したときに、報酬が最大化されるようにしたところ、サルも極めて正確に運動リズムを刺激リズムに同期させた。さらに、ヒトと同様、刺激に先行するボタン押しもしばしば観察された。さらに、刺激が提示されないにもかかわらず、多くの試行で8回目のボタン押しがみられた(図6)。

ランダム条件においても、800 msあるいは1200 ms の I O I が連続すると、反応時間が有意に短縮した。

図 6



以上の結果から、以下のことが示唆された。

1)サルも、等間隔の刺激リズムに運動を同期させることが出来る。2)サルも、ボタン押しのような単純な運動を繰り返す状況では、刺激のリズムに引き込まれて運動リズムが発生する。したがって、サルの運動制御機構にも、ヒトと同様のリズム制御の機構が存在するのではないかと予測された。

なお、サルがこの課題を行なっている間に、ドーパミン D2 受容体の作動薬 Quinpirole を投与したところ、リズムに乗りにくくなる傾向が見られたが、その効果にはばらつきがあり、現段階では明確な結論が得られていない。リズム制御におけるドーパミンおよび大脳基底核の関与については、さらなる研究が必要である。

<引用文献>

Konoike, N., Mikami, A., Miyachi, S. The influence of tempo upon the motor rhythm control in macaque monkeys. *Neuroscience Res.* 74:64-67 (2012)

Zarco, W., Merchant, H., Prado, L., Mendez, J.C. Subsecond timing in primates: comparison of interval production between human subjects and rhesus monkeys. *J. Neurophysiol* 102:3191-3202 (2009)

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 0件)

[学会発表](計 3件)

宮地重弘 「連続ボタン押し課題における自動的リズム同調」第37回日本神経科学大会(2014年9月11日、神奈川県横浜市)

宮地重弘「連続ボタン押し課題における引き込み現象：音楽経験及び年齢の影響」第9回 Motor Control 研究会(2015年6月27日、京都府京都市)

宮地重弘 「連続反応時間課題遂行中の予期しないリズムへの運動の同調」第79回日本心理学会(2015年9月22日、愛知県名古屋市)

[図書](計 0件)

[産業財産権]
出願状況(計 0件)

[その他]
ホームページ等

<http://researchmap.jp/shigehiromiyachi/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

宮地 重弘 (MIYACHI, Shigehiro)
京都大学・霊長類研究所・准教授
研究者番号： 60392354