

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：57101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700718

研究課題名(和文)運動が前頭前野ヒト抑制機能に及ぼす影響について

研究課題名(英文)The effects of acute exercise on inhibitory process in humans

研究代表者

赤塚 康介 (Akatsuka, Kosuke)

久留米工業高等専門学校・一般科目文科系・助教

研究者番号：50514006

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、適度な強度の有酸素運動がヒトの運動抑制機能にどのような影響を及ぼすのかを検討した。実験では、ヒトの運動抑制過程を観察する上で最適な方法の一つであるgo/no-go課題を用いて脳波の測定を行った。その結果、適度な強度で有酸素運動を行った後にはno-go-N140成分の振幅が運動前と比較して増大することが分かった。No-go-N140成分は、中枢機能の持つ運動抑制過程の指標の一つであり、この振幅が増大したことは、適度な強度の有酸素運動を行うとヒトの運動抑制機能は強く働くようになることを示唆するものである。

研究成果の概要(英文)：This study evaluated the influence of acute aerobic exercise on the human inhibitory system. For studies on the neural mechanisms of somato-motor inhibitory processing in humans, the go/no-go task is a useful paradigm. In the control condition, the subjects performed the go/no-go task before and after 20 min of rest. In the exercise condition, the subjects performed the go/no-go task before and after 15 min of treadmill running. We recorded a clear-cut N140 component under all conditions, and found that the peak amplitude of no-go-N140 was significantly enhanced during moderate exercise. These results suggest that moderate exercise can affect the amplitude of no-go-N140, which could be interpreted as an index of the human inhibition process. The human inhibitory system is an important cognitive process, and this system may underlie the hypothetical ability of physical exercise to maintain and improve cognitive performance throughout the lifespan.

研究分野：運動生理学

キーワード：運動 抑制機能 前頭葉 Go/No-go task 脳波

1. 研究開始当初の背景

ヒトとして生きていくために最も重要な部位である前頭前野に関しては、多方面から様々な研究が行われてきており、その詳細について日々明らかになってきているところである。そのような中で、前頭前野と運動の関係についても研究が進められ、行動実験によって注意力の増大や反応時間の短縮などが分かってきており、運動が脳の認知機能に有益な影響を与えることが示唆されてきている(Hillman et al, 2008)。また、ヒトの脳高次機能に関して非侵襲的に検討することのできる脳波を用いて運動による脳活動への影響を研究した報告も多くあり、認知的な成分であると言われている P300 の振幅の増大や潜時の低下などが示唆されてきている(Kamijo et al, 2004)。したがって、前頭前野が果たしている役割に対して運動がどのような影響を与えているのかを研究していくことは非常に有用なことでありと考えられる。

しかし、前頭葉の重要な機能の一つである抑制に関して運動によってどのような影響を受けるのか報告している研究はない。そこで、ヒトとして重要な抑制機能に対して、運動がどのような影響を与えるのか検証する必要があると考えられる。また、脳波を用いた研究により、運動が前頭葉の果たす機能に時間的にどのような影響を与えるのかについて分かってきたが、空間的責任部位は分かっていない。そのため、前頭葉のどの部位が運動によって影響を受けているのか早急に特定する必要があると考えられる。

したがって、前頭葉の持つ機能に対して運動が与える影響や部位については詳細が分かっていない点が多いため、その研究には多角的な方面からアプローチを試み成果を積み重ねていくことが必要である。

2. 研究の目的

前頭葉のもつ判断や、認知、情動といった機能が運動により影響を受けることが分かってきている。しかし、もう一つの重要な機能である抑制機能が運動によってどのように影響を受けるのかは分かっていない。そこで、本研究では非侵襲的な脳機能イメージング手法を用いて、運動が抑制機能に時間的、空間的にどのような影響を及ぼすか解明することを目的とする。本実験により、抑制機能への運動による作用が解明されれば、医学、認知心理学、社会学など様々な面で貢献することが可能になると考えられる。

3. 研究の方法

(1) これまでの先行研究より、脳と運動に関しては、多方面から様々な研究が行われてきており、その詳細についても日々明らかになってきているところである。行動実験によって注意力の増大や反応時間の短縮などが分

かってきており、運動が脳機能に対して有益な影響を与えることが示唆されてきている。また、ヒトの高次脳機能に関して非侵襲的に検討することのできる脳波を用いて運動による脳活動への影響を研究した報告も多くあり、認知的な成分であると言われている P300 の振幅の増大や潜時の短縮などが示唆されてきており、ヒトの前頭葉の持つ機能に対して運動は効果的であると考えられる。今回採用された研究計画では、体性感覚刺激を用いてヒトの前頭葉の持つ機能に対する誘発反応を計測していこうと考えている。しかし、体性感覚刺激に対する前頭葉の機能への運動の影響はまだ解明されていない点が多い。私は、これまでの研究により体性感覚系を評価する際に用いられる二点識別域測定法が脳の前頭葉の機能に関係することを報告している。二点識別閾値は、体性感覚における空間的、時間的識別能を示すものであり、皮膚に同時に二点与えられた感覚情報が一点か二点かという認知は、主に皮膚感覚受容器の感覚受容野、中枢神経系内の機構によって規定される。また、大脳皮質内における認知の過程も最終的な判断に至るまでに、重要な役割を担っていると考えられる。この二点識別域測定法を用いて体性感覚識別過程と運動との関係を調べることにより、体性感覚系の前頭葉機能への運動との関わりを見ていくことができると考えられる。そこで、体性感覚系に関する前頭葉の機能が運動により実際に効果的な影響を受けるのか行動実験によって確かめる。

(2) ヒトの随意運動の抑制過程については、実際の筋電図の発火が生じず、行動として発現されないため、その脳内神経ネットワークを解明することがこれまで非常に困難であることであったが、脳機能イメージング技法を用いることによって、ヒト脳の運動抑制過程にアプローチする研究が可能になってきた。この抑制過程に関する研究では、被験者が Go/No-go task と呼ばれる課題を行なっている間に脳機能を計測する。Go/No-go task は、2種類の刺激を被験者に無作為に与え、1つの刺激を Go 刺激とし、その刺激が呈示された際には被験者が反応動作を実行し、もう一方の Nogo 刺激が呈示された際には反応動作を実行しない、という課題である。Go 刺激が呈示された試行では、運動遂行過程を検討することができ、反対に Nogo 刺激が呈示された試行では、運動抑制過程を検討することができる。このことから、反応動作を行わない Nogo 試行時において、生理学的手法を用いて脳反応に着目することによって、抑制過程がいつの時間帯に、どのように行なわれるのか明らかにすることができる。まず、脳波を用いて抑制過程の時間的神経ネットワークへの運動が及ぼす影響について調べる。Nogo 試行時には、「Nogo potentials」と呼ばれている事象関連電位が記録される。この

Nogo potentials の変化を運動の前後で観察することにより、運動による前頭葉の抑制機能への影響を観察する。

(3)運動によるヒト前頭葉の持つ抑制機能の空間的变化について、空間的な分解能に優れた運動を伴う実験に用いることが容易であり抑制機能の空間的な変化を詳細に観察することができる近赤外スペクトロスコピー(Near-infrared spectroscopy: NIRS)を用いて実験を行う。

4. 研究成果

(1)ヒトの体性感覚系に運動が影響を与えるのか、運動条件と安静条件の二つを設定して行動実験を行った。15分間のジョギングを行った運動条件では運動の前後で二点識別閾値が有意に低下していた。一方、運動を行わずにいた安静条件では安静の前後で二点識別閾値に有意な変化は見られなかった。このことは、運動が体性感覚系の高次機能である体性感覚識別に対して効果的な影響を与えることを示唆するものである。我々の先行研究において、体性感覚系の二点識別には刺激後約 200ms という早い段階では体性感覚系の中枢である第一次体性感覚野、第二次体性感覚野が関与していることを報告している。この体性感覚系の早い段階に関して、黒岩らは 30%MVC 把持運動をできなくなるまで行わせ SEP を測定した結果、運動の早い段階では SEP 振幅値に変化はなかったが、疲労してくると SEP 振幅値が有意に低下したことを報告している。これは、運動により疲労してくると体性感覚系の初期の入力情報が影響を受けることを示唆するものである。今回の実験において運動強度は、カルポーネン法を用いて 50%強度を目標として個々に設定している。健康作りの際には、安全のために運動強度を 60~75%強度に設定するように考えられている。従って、今回の実験で設定した 50%強度は疲労困憊に至るような運動強度ではなく、むしろ二点識別能を向上させていることから、SEP 初期の入力情報に影響を与えたとは考えにくい。また、我々の機能的核磁気共鳴画像法を用いた先行研究において体性感覚系の二点識別には inferior parietal lobule(IPL)が重要な機能を担っていると報告している。この部位は、体性感覚野からの情報を処理して体性感覚刺激の識別に重要な役割を果たしていると考えられている部位である。今回の実験における運動後の二点識別能の向上には、運動がこの IPL に対して効果的に働いたと考えられる。従って、今回の実験で行った 50%強度の運動は末梢から中枢への体性感覚情報に直接の影響を与えたわけではなく、脳内での高次な体性感覚識別過程に対して効果的な影響を与えたと考えられる。今回の実験では、50%強度の運動を行っている

ため疲労を起こしてはいないと考えられるが、運動強度を上げていった場合には疲労のために初期の体性感覚情報が影響を受け高次の判断、識別といった機能を低下させることも考えられる。今後は、運動強度による識別機能の変化にも着目していきたい。先行研究において、運動による認知機能の改善には覚醒状態の変化が関係していると報告されている。今回の安静条件のような、実験中に安静状態を保ってもらうような実験では、実験中に眠気等を起こし、覚醒状態が下がるようなこともあり得るが、今回の実験においては 15 分間という短い安静状態であり、覚醒状態の変化はなかったと考えられる。実際に、二点識別閾値に安静状態の前後で有意な差は見られなかった。一方、運動条件では運動を行うことにより被験者の覚醒レベルが上がったことは十分に考えられる。従って、運動を行うことによりヒトの覚醒レベルが上昇し、体性感覚識別過程に関するヒトの諸機能を向上させることが考えられる。今回の実験により、運動はヒトの体性感覚識別過程の機能に対して効果的な影響を与えることが判明した。今後は、運動強度による影響の違いや他のモダリティーに対する運動の影響について検証を行っていくことが課題である。

(2)体性感覚刺激による go/no-go 課題を用いて、ヒトの運動抑制機能に適度な強度の運動がどのような影響を及ぼすのかを検討した。実験では、安静条件と運動条件ともに明瞭な N140 成分を観察することができ、Fz と Cz の電極において運動後の N140 成分の振幅が運動前に比べて増大することが分かった。このことは、適度な強度の運動がヒトの中枢機能における抑制機能の指標の一つである no-go-N140 成分の振幅に影響を与えることを示唆するものである。我々が実験に用いた go/no-go 課題は、反応の実行と抑制の神経機構を評価する際に有効な方法である。この方法は、刺激の種類に依存しないとされており、視覚や聴覚、体性感覚、痛覚で用いることができる。我々のグループは最近の研究において、no-go-N140 成分を前頭の中核部より記録し、発生源を prefrontal cortex の inferior frontal sulci に推定した。Nakata らも、go 試行と比較して no-go 試行では、dorsolateral と ventrolateral prefrontal cortex、anterior cingulate cortex、inferior parietal lobule が有意に強く活動することを報告している。Yanagisawa らは、ストループテストの前後に運動を実施し、機能的近赤外分光法を用いて left dorsolateral prefrontal cortex が有意に活動を増強することを報告し、認知機能の改善に dorsolateral prefrontal cortex が関与していると報告している。この dorsolateral prefrontal cortex は、no-go 試行時にも関与していると言われており、我々は適度な強

度の運動により活動が増強された prefrontal cortex が no-go-N140 にだけ影響を与えたのではないかと推察している。

No-go-N140 成分の振幅が増大することを報告している研究はほとんどないが、我々のグループは、go 試行に対して強い反応が必要な時に、no-go 試行において no-go-N140 成分の振幅が増大することを報告しており、go 試行時の運動野の強い活動を抑制するには、より強い抑制過程が必要になるとしている。さらに、prefrontal cortex における no-go 活動の増大は一次運動野に影響を与えるとしており、我々は一次運動野の活動レベルと no-go-N140 成分の間には重要な繋がりがあると考えている。今回の実験では、被験者は個々に設定された 50%VO₂max 強度で 15 分間のランニングを行っており、実験で設定した運動強度は一次運動野の活動レベルを no-go-N140 成分に影響を与えることのできる一定レベルまで上げることのできる強度であったと考えられ、そのため no-go-N140 成分の振幅が変化したのではないかと考えている。

今回の実験では、適度な強度の有酸素運動と体性感覚刺激による go/no-go 課題を用いている。運動と体性感覚系には密接な関係があると考えられており、今回の実験ではこの組み合わせだったからこそ no-go-N140 成分の振幅の増大が観察できたのかもしれない。従って、運動と他の感覚刺激を組み合わせた場合にも同じような no-go-N140 成分の変化が起こると断定はできないので、他の刺激を用いた場合にも同じような変化が起こるか検証していかなければならない。

No-go-N140 成分は、ヒトにとって重要な認知機能の一つである抑制機能の指標の一つであり、本実験よって運動がヒトの認知機能に対して効果的な影響を与えるということが分かった。従って、ヒトが人生を過ごしていく中で認知機能の改善や衰えへの対策として適度な運動を遂行していくことは有効な方策の一つである。

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2件)

Kosuke Akatsuka, Koya Yamashiro, Sho Nakazawa, Ryouichi Mitsuzono, Atsuo Maruyama, Acute aerobic exercise influences the inhibitory process in the go/no-go task in humans. Neuroscience Letters, 査読有、in press

赤塚康介、運動が体性感覚識別過程に及ぼす影響について、久留米工業高等専門学校紀要、査読有、27(2):67-71

[学会発表](計1件)

赤塚康介、山代幸哉、中澤翔、丸山敦夫、有酸素運動が no-go-N140 成分に及ぼす影響について、第 69 回日本体力医学会大会、2014 年 9 月 19 日、長崎

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤塚 康介 (Akatsuka, Kosuke)

久留米工業高等専門学校・一般科目文科系・助教

研究者番号：50514006