

機関番号：12605

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700593

研究課題名 (和文) 運動の周期性と予測運動適応の脳内過程の解明

研究課題名 (英文) Analysis on Brain Process of Anticipatory Motor Adaptation with Periodicity of Motion

研究代表者

近藤 敏之 (KONDO TOSHIYUKI)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：60323820

研究成果の概要 (和文)：本研究では、視覚運動回転変換下の到達運動課題において、運動課題の周期性 (予測可能性) の有無が運動学習に及ぼす影響の解明に取り組んだ。心理物理実験の結果から、周期的な運動 (追跡) を基礎とした運動学習は、離散的運動 (到達運動) を単位とする学習と比べ、学習により長い時間を要するが、ひとたび運動が獲得されると、周期的学習で獲得された視覚運動変換に関する運動技能は、離散的運動にも汎化可能であることが明らかになった。このことから、運動単位というよりもむしろ運動の随意性/非随意性 (自動性) と運動技能獲得の間に関係があることが示唆された。

研究成果の概要 (英文)：Acquiring motor skills for playing unfamiliar musical instruments and/or sports can be formulated as motor learning of a novel sensorimotor coordination. In this study, we focused on the method how we can obtain the sensorimotor mapping efficiently. Concretely, we investigated the effect of motor segmentation, i.e. rhythmic and/or discrete movement on motor learning of visuomotor rotation task. Conventional studies suggested that brain activity between rhythmic and discrete movements would be different. According to this, we hypothesized that the difference should have an effect on the acquired sensorimotor coordination and its generalization ability. As a result, the subject trained with rhythmic movement showed high generalization ability, whereas subject with discrete learning did not. This suggested that the effect of rhythmic movement is significant on motor learning of visuomotor learning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：身体システム学, 運動学習

1. 研究開始当初の背景

生後の経験に基づいて獲得される運動は、生まれつき備わっている生得的運動に対して習得的運動と呼ばれる。Caithnessらの先

行研究によれば、相反する二種類の感覚運動連関を続けて同時並行に学習することは困難であることが実験的に示されている。これは、先に獲得された感覚運動連関によって後

段の運動学習が阻害される順行性の干渉と、先に獲得された運動技能が後段の学習によって上書きされる逆行性の干渉の両方の影響によるものと考えられている。このような運動技能の干渉は、一般に負の転移と呼ばれるものであるが、逆に、複雑な運動を獲得する前段階として、基礎となる運動単位を体得しておくことで、正の転移によって運動学習が促進される可能性も考えられる。それでは、様々な運動技能を効率良く学習するためには、どのような運動単位を持っているべきであろうか。

Bizzi らは、カエルの脊髄を電気刺激した電気生理実験の結果から、運動の基礎単位は反射であり、例えば周期的な運動は、複数の平衡点を持つ離散的な運動単位を、時間的に切り替えて顕在化させることで実現されている可能性を示している。また、動物の歩行に関する多くの生理実験によれば、脊髄・脳幹には、周期的運動を生成するパターンジェネレータ (central pattern generator, CPG) が生得的に備わっており、これが歩行をはじめ、咀嚼、遊泳、飛翔など、動物に見られる多くの周期的運動の基礎である可能性が示されている。また歩行のような周期的運動は自動運動とも呼ばれ、一度体得されると高次脳の賦活を伴わずに潜在意識下で実行可能であることから、新しい運動技能の学習において基礎となる運動単位にはなりにくく、一方、到達運動のような離散的な運動は随意的であり、高次脳の活動が不可欠であるために、学習を促進させると考える向きもある。これに対し、Schaal らは、脳機能イメージング装置を用いて、手首の単関節運動を離散的に行った場合と周期的に行った場合の脳の賦活パターンを調べ、確かに周期的運動時は脳の賦活が比較的少ないが、両者はそれぞれ異なる神経機構によって実現されているため、運動学習における相互作用は少ないのではないかという見解を示している。

2. 研究の目的

本研究では、視覚座標系と身体座標系間に回転変換を施した視覚運動回転変換学習課題を用いて、離散的 (Discrete) な到達運動を運動の単位として繰り返し訓練する学習方法と、周期的 (Rhythmic) な運動を基礎として訓練する学習方法の二群にわけて訓練させた場合、いずれかの群が効率的に視覚運動回転変換を学習することができるのか、あるいは両者による学習は独立で相互関係は見られないのか、という点について実験的な検証を試みた。

3. 研究の方法

本研究では視覚運動座標系に一定の回転変換がかけられたコンピュータマウスを操

作して、ディスプレイ上に表示されるターゲットへカーソルを到達させる運動を実験タスクとした。視覚フィードバックの影響を排除するため、被験者は作業領域が見えないように配慮した。

本実験は、20 名の健康な男女 (平均年齢 21 ± 3 歳、全員右利き) の協力のもとに行われた。実験では、被験者にディスプレイ中心の原点から、 0° 、 90° 、 180° 、 270° の 4 方向にランダムに出現するターゲットへ向けて、 120° の回転変換が施されたマウスを操作して到達運動を行なわせた。Fig. 1 に示すように、離散的課題ではスタートポジションが原点となり、ターゲットへの到達運動を 1 試行とした。ただし、運動学習にかかる時間を被験者間で均等にするため、2 秒以内に到達できなかった場合には試行終了とした。カーソルがターゲットに到達するか、もしくは試行が終了された後、画面は 2 秒間暗転し、次の試行に移るものとした。一方、周期的課題では、1 試行前の終了位置がスタートポジションとなり、そこからランダムに出現するターゲットに向けて到達運動を行わせるが、到達の成否に関わらず、試行開始 2 秒後にターゲットが原点へと移動することで、到達運動を連続して行う設定とした。さらにその 2 秒後には次の試行に移るため、周期的課題では、被験者は連続的にターゲットと原点間の到達運動を繰り返す必要がある。

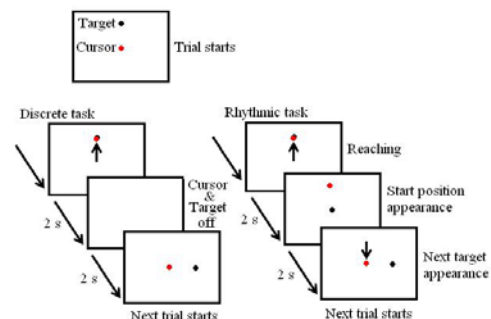


Fig. 1 Time sequence of a trial

本実験では、回転マウスによる視覚運動回転変換への適応度を定量的に分析するための指標として、運動開始後にカーソルが最大速度をとる点における手先の角度誤差 (Angular Error) を用いた。また本研究では、ランダムに出現する 4 方向のターゲットに各 1 回ずつ到達運動を行うことを 1block と定義し、回転変換がかかっていない状況下で到達運動を行なう練習フェーズを Null Phase、回転変換がかかっている状況下で到達運動を行なう学習フェーズを Training Phase と呼ぶ。実験では全被験者の学習フェーズ終了時の角度誤差の差をなくすため、

Training Phase の block 数を被験者ごとに調整した。一方, Test Phase は, 学習が完了した被験者の運動技能を学習時とは異なる運動単位の下で評価するためのフェーズである。

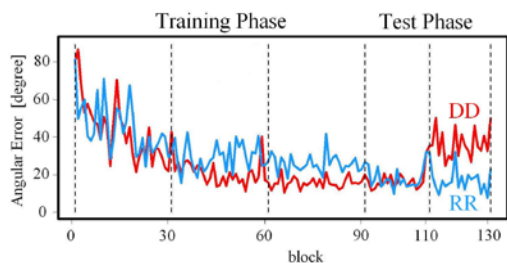


Fig. 2 Angular Error of Group DD and RR

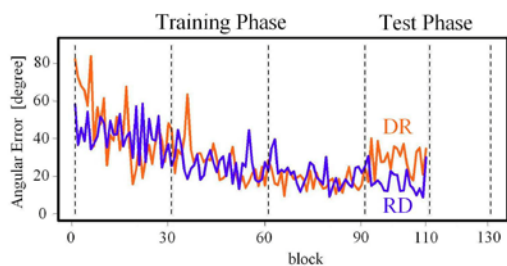


Fig. 3 Angular Error of Group DR and RD

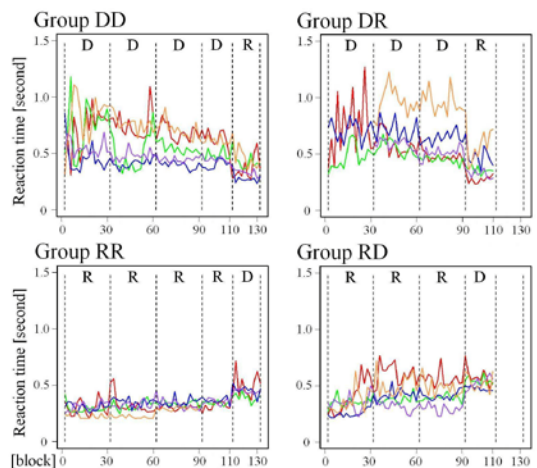


Fig. 4 Reaction time

本実験では, 視覚運動変換課題訓練時の運動単位 (離散的/周期的) の違いが, その後の汎化能力の違いに及ぼす影響を明らかにするため, 離散的学習を行った後に離散的課題を行なうグループ (DD), 離散的学習を行った後に周期的課題を行なうグループ (DR), 周期的学習を行った後に離散的課題を行なうグループ (RD), 周期的学習を行った後に周期的課題を行なうグループ (RR) の4群に

各々5人ずつ被験者を配置して実験を行った。

実験の結果, 離散的学習を行った被験者10名のうち7名は, 汎化性を検証するために行ったその後の周期的課題において, 角度誤差が有意に増加した ($p < 0.05$). その他の3名についても, 有意差こそ示さなかったが, 角度誤差の平均値は増加していた。一方, 周期的学習を行った被験者10名のうち, 1人の被験者を除いた9名は, その後の離散的課題において, Training Phaseで向上したパフォーマンスと同等の成績を示した。Fig. 2に, 訓練時と同じ運動単位でTest Phaseを行ない, さらに異なる運動単位で行ったDDグループ (赤) とRRグループ (水色) の角度誤差の推移を示す。この角度誤差は, グループ全体かつ各blockごとの平均値を示している。Training Phaseについては, 終盤の90blockを平均化した。同図より, どちらのグループも訓練時と同じ運動単位で行ったTest Phaseまでは, 学習によって向上したパフォーマンスを維持できていることがわかる。しかしながら, 異なる運動単位で行ったテストでは, 二つのグループのパフォーマンスに有意差が見られた ($p < 0.05$)。すなわち, RRグループは, 離散的課題でも, 周期的課題と同等に少ない角度誤差を維持していたのに対し, DDグループの周期的課題における角度誤差は, 有意に増加している ($p < 0.05$)。

また Fig. 3に, Training PhaseとTest Phaseで異なる運動単位による試行を行ったDRグループ (橙) とRDグループ (青) の角度誤差の推移を示す。先の結果と同様に, Test Phaseにおいて, この2グループのパフォーマンスにも有意差が見られた。DRグループは, DDグループと同様に, 訓練時と異なる周期的課題では, 角度誤差が有意に増加した。一方, RDグループは, 訓練時と異なる離散的課題においても, Training Phase後期と同等の成績を示した。

以上をまとめると, Fig. 2のRRグループとFig. 3のRDグループのTest Phaseにおける結果から, 周期的課題を運動単位として視覚運動変換を学習したことで, 離散的運動を単位とする到達運動にも即座に適応できたと考えられる。このことから, 本実験の課題設定の下では, 周期的運動によって獲得される運動技能は高い汎化能力を持つことが示唆される。

また, 学習に用いた運動単位を比較するため, 試行開始からカーソルが最大速度に達するまでに要した時間を反応時間と定義し, 各条件下でその傾向を分析した。Fig. 4に各被験者の反応時間の推移を示す。同図から, DDグループやDRグループのように離散的学習を行った被験者の反応時間は学習中に減少し, 一定値へと収束する傾向が窺える。さらに, 学習後の周期的課題によるテストでは,

すべての被験者の反応時間が短くなる様子が見てとれる。一方、RDグループやRRグループのように周期的学習を行った被験者の反応時間は、学習初期から後期にかけてなららかに増加し、離散的課題を行なっているときの反応時間(500ms)に近づく傾向が見られる。このことから、本実験の周期的運動では、運動中に手先が静止しており、完全な連続運動にはなっていない可能性が考えられる。

4. 研究成果

本研究では、視覚運動変換課題の学習時における運動単位(離散的/周期的)の違いが、その後獲得される運動技能の汎化能力に及ぼす影響を明らかにするため、回転マウスを用いた到達運動学習実験を行い、条件ごとの適応度を調査した。実験の結果、離散的運動を運動単位として学習した群は、その後の周期的課題に適応することができなかったのに対し、周期的運動を運動単位として学習した群は、離散的課題にも適応することができることを確認した。しかしながら、反応時間の結果から、本実験における周期的課題は完全な連続運動とはなっておらず、言わばより高次の離散的運動であった可能性が示唆された。このことから、必ずしも周期的運動を運動単位とすることが頑健な運動技能の獲得を促進するとは言いきれない。今後の課題としては、被験者が運動中に手先を静止させることが無いように周期的課題を設定して再実験を行ない、その結果と本実験の結果を比較する予定である。

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4件)

1. 野澤孝之, 近藤敏之, 近赤外分光法(NIRS)による共生情報システムの評価とデザイン, 計測と制御, Vol.49, No.12, pp. 868-873, 査読有, 2010.
2. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, A comparison of artifact reduction methods for real-time analysis of fNIRS data, Lecture Notes in Computer Science 5618, 査読有, pp. 413-422, 2009.
3. Seimei Abe, Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, A Proposal of EMG-based Training Support System for Basketball Dribbling, Lecture Notes in Computer Science 5617, 査読有, pp. 459-465, (2009).

[学会発表] (計12件)

1. 宮武宏幸, 野澤孝之, 林 叔克, 近藤敏之, 運動単位が視覚運動変換学習に及ぼす影響, 第23回自律分散システム・シンポジウム, pp. 33-36, 北海道大学, 札幌, (01/29-30, 2011)
2. 宮武宏幸, 林 叔克, 野澤孝之, 近藤敏之, 視覚運動変換学習における運動単位の影響, SSI2010 併設ワークショップ「システム・情報・制御におけるライフサイエンス研究」, キャンパスプラザ京都, 京都, (11/26, 2010)
3. 中島直人, 野澤孝之, 近藤敏之, NIRSを用いた嗜好に基づく意思決定の推定, 第25回生体・生理工学シンポジウム, 岡山大学, 岡山, (9/25, 2010)
4. 近藤敏之, 感覚・運動連関の予期と運動学習, 移動知公開セミナー, 東京大学弥生講堂一条ホール, (9/10, 2010)
5. Toshiyuki Kondo, Kazuto Nakamura, Takayuki Nozawa, Motor Learning by Attentive Observation, Proceedings of the 4th International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions, Prague, (6/14, 2010).
6. 中村和人, 野澤孝之, 近藤敏之, 観察による身体イメージの生成と運動学習に関する研究, 第24回生体・生理工学シンポジウム講演資料集, pp. 299-302, 東北大学, 仙台 (9/25, 2009)

[図書] (計1件)

1. 伊藤宏司, 近藤敏之 編著, 環境適応—内部表現と予測のメカニズム, シリーズ移動知 第3巻, pp.87-121, オーム社, 2010.

[産業財産権]

該当なし

[その他]

ホームページ等

<http://www.livingsys.lab.tuat.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 敏之 (KONDO TOSHIYUKI)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 60323820

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし