

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500503

研究課題名（和文）身体運動知覚の誤差修正メカニズムの解明：感覚運動表象の学習効果の検証

研究課題名（英文）Error correction mechanisms in perception of body movements: Learning of sensorimotor representations can enhance error corrections.

研究代表者

田中 秀幸 (Tanaka Hideyuki)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：70231412

研究成果の概要（和文）：

固有受容感覚情報に基づく自己身体運動知覚の正確性と運動習熟度の関連性を解析した。視覚誘導性の運動においては、視覚に頼らずに正確な動作の繰り返し練習により、身体運動知覚の正確性が高まることを明らかにした。また、運動している身体部位の位置知覚には中枢から主動筋への運動命令とそれに関連する情報（遠心性コピー）はほとんど関与せず、目的とする運動によって伸長される筋（拮抗筋）や腱からの求心性情報が寄与することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

We investigated whether accuracy of the position estimates of a moving body segment (e.g., hand) can be improved with motor control practice without vision. Through an intensive training of motor control skills, subjects could become to consciously perceive dynamic hand positions by relying on non-visual information, even though vision is a major source for error corrections. Moreover, without vision, afferent sensory information from stretched muscles and tendons plays a more important role in conscious perception of dynamic hand position than downstream information to prime movers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：知覚運動制御論

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：知覚，運動制御，運動学習，行動学，脳・神経

1. 研究開始当初の背景

人間が環境内における自己の身体運動を知覚認知するとき、他の感覚よりも視覚に頼る傾向にある（知覚情報処理における視覚優位性）。その理由から、視覚情報が運動制御のなかでどのように使われるか、どのような

視覚情報の要素や特性が運動制御に貢献するかを探ることが、これまでの知覚運動制御研究の重要課題であった。

スポーツに含まれる運動課題の多くは、時間的空間的制限により、自己の身体運動知覚のために視覚情報を十分に利用できない（例

えば、非常に短時間で運動が完了してしまう打撃動作など)。このような状況にあつては、身体運動を知覚するためには固有受容感覚系由来の情報（関節位置、関節運動の範囲、運動の方向性などのいわゆる“運動感覚”情報）に頼らざるを得ない。近年、随意運動の制御において、固有受容感覚の役割は極めて重要であることが知られるようになった。しかしながら、身体部位の動作の運動学的特性が運動実行中にどの程度正確に意識（知覚認知）されるかの疑問に関しては、研究方法が確立されておらず、知見に乏しいのが現状である。

2. 研究の目的

多くの運動・スポーツ種目において、競技者が自己の身体運動の運動学的特性（例えば運動速度や関節角度など）を正しく知覚認知する能力は、高い運動パフォーマンスを発揮するために不可欠な要素である。固有受容感覚情報に基づく自己の身体運動の知覚は、ある程度の誤差を含んでいる。運動課題を正しく遂行するためには、この誤差を修正する何らかのメカニズムが働いていると考えられる。一方、運動を計画する際には、感覚運動表象と呼ばれる内部モデル（いわゆる“感覚運動の心的イメージ”）が比較参照されると考えられる。この仮定に基づき、本研究では次の2つを研究目的とした。

(1) 直接的な視覚フィードバックの与えられない条件において、運動の空間的正確性と身体運動知覚の空間的正確性の関連性を明らかにする。

(2) 主動筋と拮抗筋それぞれの腱紡錘・筋紡錘由来の求心性感覚情報に着目し、能動的運動時と受動的運動時における身体運動知覚の正確性を明らかにする。

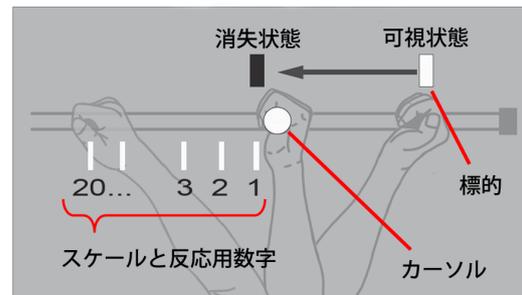
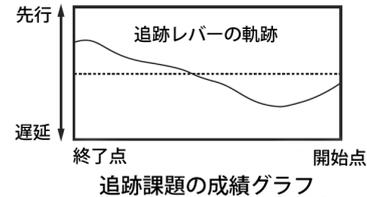
これらの実験研究を通して、身体運動知覚の誤差修正に対する感覚運動表象の学習効果および固有受容感覚の貢献度を解析した。

3. 研究の方法

実験（1）

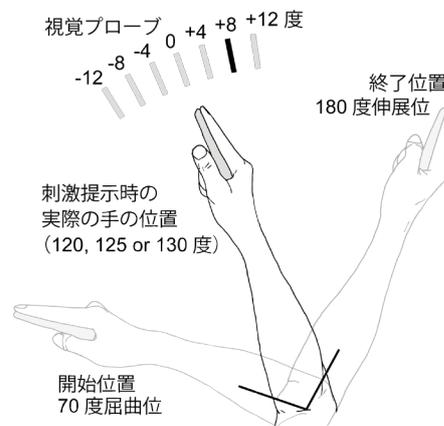
被験者は、目の前の水平面内に置かれたスクリーン上に表示される標的を、スクリーンの真下に配置された追跡操作盤上のレバーを握り、左右にスライドさせて、手と標的位置が一致するようにできるだけ正確に追跡することが求められた。レバーと上肢の動きはスクリーンと布で遮蔽された。標的はスクリーン上を右から左に等速移動し、途中で消失した。練習群被験者は、標的を正確に追跡できるまで繰り返し練習を行った。練習試行終了の度に追跡成績グラフ（ターゲットとレバーの相対的位置）がフィードバックされた。統制群被験者は追跡練習を行わなかった。その後、両群に対して位置判断課題を行った。

標的追跡中にランダムに音刺激を提示し、被験者は音刺激の瞬間に感じた手の位置を回答した。また、視覚フィードバックあり条件においては、レバー位置を示すカーソルをスクリーンに表示した。

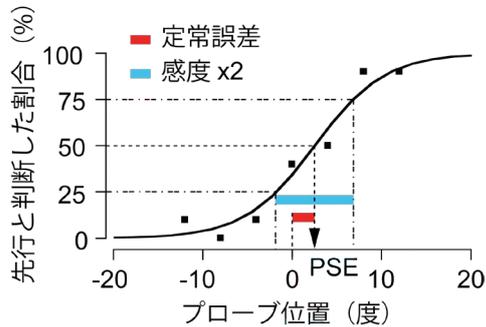


実験（2）

被験者は、アルミ製回転アーム（ロボットアーム）に前腕を載せ、肘の屈曲位 70 度からの単関節伸展運動を行った。実験課題は、肘伸展運動中にスクリーン上に提示された視覚プローブ刺激と、刺激提示の瞬間に実際に感じた手の位置を比較することであった（能動運動条件）。被験者は、手に対して視覚プローブが「先行」・「遅れ」のいずれかを



強制的に選択し、記録された反応データに対して心理物理関数を適用し、随意運動中の手の位置判断精度を推定した。受動運動条件においては、ロボットアームをモータ駆動し、腕を受動的に伸展させ、能動運動条件同様に位置判断精度の推定値を得た。

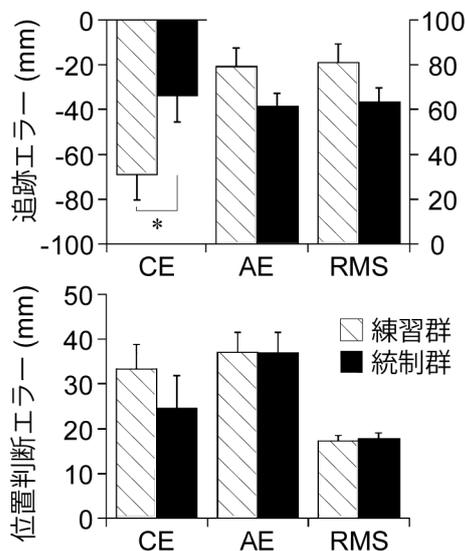


4. 研究成果

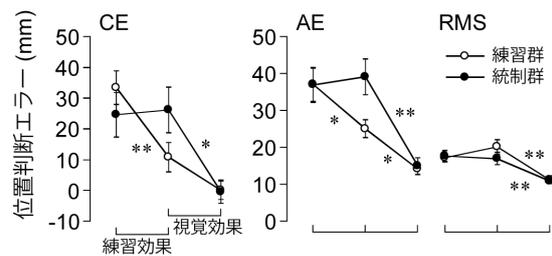
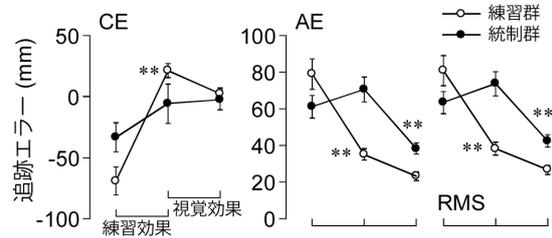
(1)

追跡練習前は、追跡課題と位置判断課題のパフォーマンスにおいて、練習群と統制群間で差はほとんど認められなかった。その後、練習群においては、標的追跡練習によって追跡誤差は有意に減少し、運動課題パフォーマンスは向上した。手の位置判断の誤差も有意に低下し、知覚課題パフォーマンスは明らかに向上した。

統制群において、視覚フィードバックが与えられた場合、フィードバックのない条件に比べて追跡誤差と位置判断誤差は有意に低下した。一方、練習群においては、視覚フィードバックの効果はほとんど見られなかったか、あるいは誤差減少効果は小さかった。これらは、練習群においては視覚情報に頼らずに追跡練習を繰り返した結果の差であると解釈される。

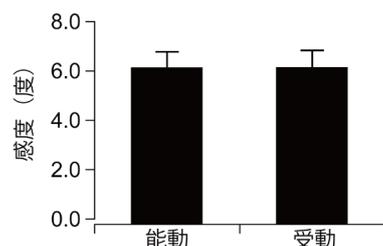
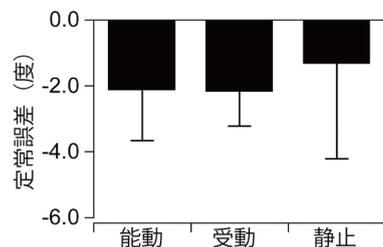


以上のことから、視覚誘導性運動においては、視覚に頼らずに正確な動作の繰り返し練習を行うことにより、身体運動知覚の精度が高まる（知覚誤差が縮小する）ことが明らかとなった。これらの知見は、普段あまり意識することのない固有受容感覚情報に積極的にアクセスすることにより、運動制御にこれらの情報を有効に利用できることになるばかりか、身体運動の空間的知覚の誤差が修正されるようになることを示唆している。



(2)

能動条件と受動条件間で位置判断精度（定常誤差および感度）に統計的有意差は認められなかった。位置決め課題から得られた静的位置判断誤差（定常誤差）と比べた時、これら2つの動的な位置判断誤差は、予想されたよりも小さかった。



これらの結果は、上肢運動の空間的知覚においては、上位中枢からの遠心性情報（運動命令の遠心性コピー）よりも随意運動によって伸張される筋（拮抗筋）や腱からの求心性情報が重要な役割を担うことを示唆している。さらには、運動する上肢の直接的視覚情報が得られなくても、参照枠さえ与えられれば、固有受容感覚由来の位置情報は視覚空間内の位置情報へ正確に変換されることが明らかとなった。

（3）研究成果のまとめと今後の展望

- ①視覚に頼らない運動の繰り返しは、自己運動知覚の正確性を向上させる。
- ②自己運動知覚のエラーが行為対象物の運動知覚エラーに影響する。
- ③脳の高次機能としての自己運動知覚に対する固有受容器由来の求心性情報の貢献は予想以上に大きい。

本研究の知見は、残念ながら、単純な上肢運動に基づく実験から得られたものである。今後は、これらを運動行動レベルで説明するための研究枠組みを考案していかなければならない。その工夫により、日常生活で我々が経験する各種の運動エラー（行動上の失敗）の原因の解明、エラー防止対策を目指した訓練法の開発など、より実用的研究成果が得られると期待される。

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）

- ①Tanaka, H., Worringham, C., and Kerr, K.G.: Contributions of vision-proprioception interaction to the estimation of time-varying hand and target locations, *Exp. Brain Res.*, 195, 371-382, 2009.査読有

〔学会発表〕（計2件）

- ①Tanaka, H., Worringham, C., and Kerr, K.G.: How accurately is kinaesthetic information on hand position translated into visual space? 33rd Annual meeting of The European Conference on Visual Perception, Lausanne, Switzerland, August 26, 2010. *Perception*, 39 (Supplement), 142, 2010.査読有
- ②Tanaka, H., Worringham, C., Kerr, K.G., and Takeichi, M.: Relative contributions of non-visual information to the position estimates of a moving hand. 32nd Annual meeting of The European Conference on Visual Perception, Regensburg, Germany, August 26, 2009. *Perception*, 38 (Supplement), 35, 2009.査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 秀幸 (Tanaka Hideyuki)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：70231412