

操作的運動時における動的認知特性に適応した 情報提示技術の開発

Dynamic presentation of cognitive information during manipulative movement

研究代表者 自然科学研究機構・生理学研究所
助教 関 和彦

Department of Developmental Physiology,
National Institute for Physiological Sciences,
Kazuhiko SEKI

操作的運動は、感覚器によって自分を取り巻く環境を検出し、それに基づいて手や腕の運動を行う「感覚-運動変換」の連続である。例えばカーブした道路を運転する際、我々は絶え間なく変化する道路の曲率、車体の方向、ハンドルの角度などを認知（感覚）し続けながら、ハンドルを操作（運動）している。安全運転のためには、様々な感覚を用いて道路や車の状態を正確に認知する必要があるが、その一方、生理学的には運動自体が感覚器の感受性を低下させることが知られている。この運動に伴う感受性の低下が運転における操作エラーを引き起こしているのではないか。もし感度の低下した感覚器の働きを支援するような方法で自動車側が運転者に知覚情報を提示できるなら、その操作エラーを減らすことができるのではないか。本研究ではこの感受性低下の生理学的メカニズムを解明し、操作的運動時に最適化された機械からヒトへの知覚情報提示方法について新提案を行う。

It is well known that real-time sensory-motor transformation using feedback from hands and arms are needed for successful manipulative movements (e.g. driving vehicle). During driving, while manipulating a steering wheel, drivers need to compile enormous information from various sensory receptors (e.g. eye, skin, or muscle) to detect the current state of vehicle. However, it is also well known that the voluntary movement itself *suppresses* the sensitivity of human sensory systems. This is obviously an inherent disadvantage for human being to control voluntary movement, but we think this can be overcome if the man-machine interface could modify the presentation of perceptual stimulus according to this lowered sensitivity. Therefore, in this project, we will explore the method to present perceptual stimulation in the way to compensate for the reduction of sensitivity of human sensory system. To this end, we will first establish the method to measure the extent of sensory suppression in cerebral cortex using electrophysiological techniques and evaluate them in the subjects performing manipulative movement. Then, we will adjust the way of presentation of perceptual stimulus to subject so that it could compensate for the movement-induced reduction of sensitivity to detect that stimulus.

Using the data obtained, we will propose mathematical models which could calculate an appropriate way of sensory presentation corresponding to perceptual characteristics in each individual. Finally, we will experimentally confirm if the modified pattern of stimulus presentation could improve the performance of manipulative movement itself.

1. 研究目的

操作的運動は視覚情報や体性感覚情報などによって外部環境の変化を検出し、それに基づいて手や腕の運動を制御する、感覚運動変換の過程である。この過程は受容器を用いた外部情報の知覚から始まるため、外界の変化を正確に検出する必要があるが、この際考慮しなくてはならない生理学的な現象が随意運動時における知覚閾値の上昇である。つまり、ヒトが能動的に身体（例えば腕や眼球）を動かしている際、皮膚感覚や光刺激に対する知覚感度が低下する事が知られている。一方、同種の運動が受動的に行われた場合にはこのような現象は認められないため、知覚感度の低下は運動に伴う感覚フィードバックによるものでなく、むしろ脳からの指令が運動（筋収縮）を引き起こすと同時に知覚を抑圧していると考えられてきた。そして我々は最近、この抑圧の一部がシナプス前抑制によってもたらされることを証明した (Seki et. al. *Nature Neuroscience*. 6(12): 1309-1316 (2003))。このような現象は手や腕の運動や眼球運動 (Saccadic suppression) において知られているが、その機能的な意義は現在まで明らかでない。

自動車などの操作は高度な感覚運動変換の連続である。従って操作を誘導する知覚情報を適切に与えるためには、運動中の知覚閾値上昇を考慮した刺激提示方法を用いる必要がある。例えば操縦エラーを操作者に警告す

るための感覚刺激を与える場合、操作的運動を行う前と最中で同じ強度の刺激を与えると、運動中においてそれらが知覚されない確率が高くなる。またこれら知覚閾値の低下は運動の速度に依存することが知られているので、動作の速度、例えばハンドル操作のスピードに依存してその確率も変化する。もし、ヒトが操作的運動を行っている際、これらの運動パラメータ（速度、力など）に依存して刺激の与え方（強度、刺激時間など）を変化させる事ができれば、操作のどのような局面でも安定してその刺激が知覚される事が可能になり、この事は操作性の向上や操作エラー防止に大きく貢献すると期待される。

そこで本研究においては、操作的運動中の知覚閾値上昇が起こる仕組みを実験的に明らかにする事を目的とする。

2. 研究経過と研究成果

1頭のサルに手がかり刺激後の遅延時間を伴った手首屈曲伸展運動を行わせ、その際皮膚神経（橈骨神経浅枝）に装着されたカフ電極より反復刺激（約 3Hz, 閾値の約 2 倍の強度）を与え、刺激によって誘発されたフィールド電位を脊髄後角(SC)、一次運動野(M1)、一次感覚野(S1)、及び運動前野(PMC)のニューロン群からそれぞれ別々に記録した。これらの記録は下位頸椎及び運動を行わせた側と反対側の頭蓋に装着された記録用チェーンバーを用いて行った。さらに、最も大きな

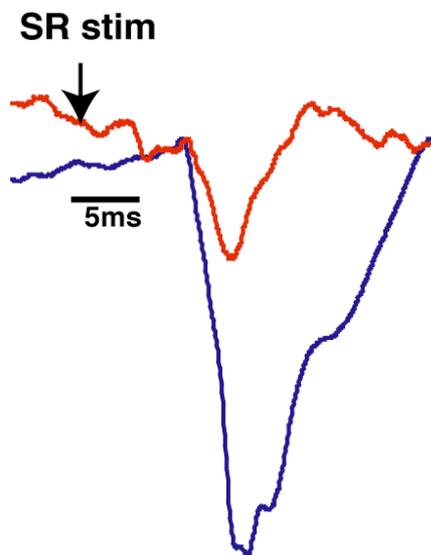


Figure 1
 安静時（青）及び動的な手首屈曲時（赤）に皮膚神経への電気刺激によって誘発されたフィールド電位。サルの一次感覚野からの記録。同じ刺激強度によって誘発されているにも関わらず、フィールド電位のサイズは運動中に顕著な低下を示していた。

フィールド電位の記録された M1, S1, PM それぞれ 1-2 ヶ所にワイヤー電極を埋入して、SC におけるフィールド電位と同時に記録し、M1, S1, PM, SC における課題遂行に依存したフィールド電位の変化を直接比較した。皮膚刺激によって誘発されたフィールド電位の潜時は SC, S1, M1, PMC でそれぞれ $4.4 \pm 0.4\text{ms}$, $7.0 \pm 0.2\text{ms}$, $10.6 \pm 0.3\text{ms}$, $11.0 \pm 0.5\text{ms}$ であり、大脳皮質の感覚運動領野内では S1 において最も潜時が早く、サイズの大きい負のピークが観察された。運動課題のうち動的な運動の位相では SC, M1, S1, PMC 全てにおいてフィールド電位のサイズの減少が記録された。さらに M1 と PMC においては、手がかり刺激後の遅延時間（運動開始前）にもフィー

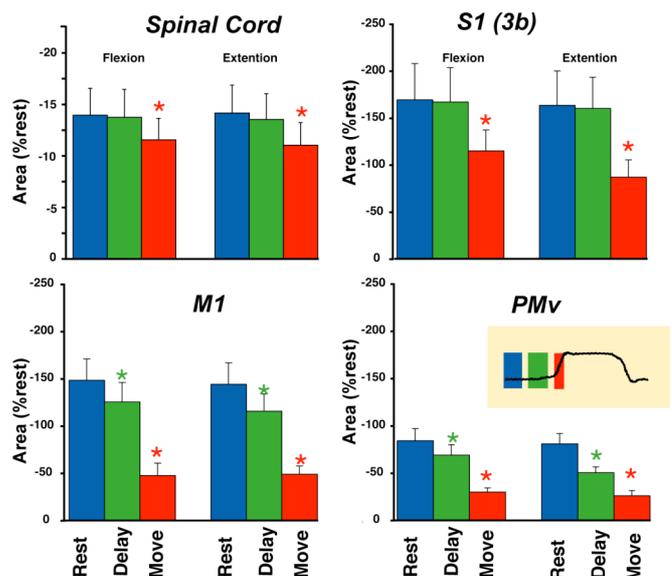


Figure 2.
 安静時（青）、遅延時間（緑）、動的運動時（赤）において誘発されたフィールド電位のサイズ変化。脊髄(spinal cord)と大脳皮質一次感覚野(S1)では運動時にのみフィールド電位の減少が認められるのに対し、運動関連皮質では運動準備時間においてすでにサイズが減少している。

ルド電位のサイズの減少が認められたが、S1 と SC においては認められなかった。これらの結果は例えば単純な反復刺激のように、遂行する運動課題と関連性の低い感覚入力は、大脳皮質や脊髄において形成された運動指令に影響を与えないように運動中に抑制されていると解釈された。また M1 と PMC において認められた遅延時間中の感覚入力の抑制は、課題遂行にとって無意味な感覚入力運動皮質における運動準備メカニズムを妨害するのを防御する機構を反映していると推測された。

3. 今後の課題と発展

以上のように、随意運動時には末梢神経刺激による大脳皮質誘発電位の閾値が有意に上昇すること、またその上昇は感覚運動皮質全般に認められること、さらに運動関連皮質に

においては運動準備時期から閾値上昇が認められることなどが明らかになった。今後の課題は、これらの感覚閾値上昇度の変化から、それらの上昇を最小限に抑制するための刺激提示パラメータを確立し、シミュレーションやヒトを対象とした実験によって明らかにしていく事である。

4. 発表論文リスト

Seki K., Kizuka T, and Yamada H. (2007). Reduction in maximal firing rate of motoneurons after 1-week immobilization of finger muscle in human subjects. ***J. Electromyogr. Kinesiol.*** 17(2) 113-120 .

関 和彦 (2006)、随意運動の制御におけるシナプス前抑制の役割、**ブレインサイエンスレビュー2006**, 155-178.

Takei T, Seki K. (2007) Control of primate grasping movement by spinal cord. Peer reviewed proceedings of 2nd International symposium on Mobiligence. *in press*.