

【研究の概要】

「私たちは、新しい運動技能をどのような練習方法で、“より早く、より上手に” 学習できるのでしょうか？」

目標とする運動を学習するとき、“脳”は、実際の運動と目標の運動とのずれ(誤差)をフィードバック情報として受け取ります。脳は、この誤差情報に基づいて、次に運動を実行するときに運動誤差が減るよう運動指令を修正します。この枠組みの下では、「運動誤差情報」は運動学習を促進する原動力であり、学習を効率的に進める上では常に好ましいものと考えられてきました。

しかし、物を投げたり、何かに手を伸ばしたりといった「一回きりの運動(離散運動)」とは違って、拍手や歩行のようにリズムカルな「反復運動(周期運動)」を行う場合、脳は、連続的に運動誤差のフィードバック情報を受け取ることになります。絶え間なく次々と入力される、膨大な情報を処理することは、脳にとって決してたやすいことではないと考えられます。

そこで、今回、周期運動における運動誤差情報が、脳によってどのように処理され、その後の運動修正に用いられるのかを解明すべく、実験を行ってきました。

【実験方法と結果】

■実験 1■

被験者に、マニピュランダム^{*3}のハンドルを動かして、画面上のカーソルが 2 つのターゲットの間を周期的に往復するよう運動を行ってもらいました(図 1)。このとき、画面上のカーソルの動きと実際のハンドルの動きが、常に食い違うように人為的な誤差を作り出し、この誤差がその後のサイクルでどのように修正されるかを調べました。

■結果 1■

視覚的な誤差情報に基づいて運動指令が修正されるプロセスを数学的にモデル化し、実際のデータに適合させてみたところ、あるサイクルで生じた運動誤差の情報は、その次のサイクルではその誤差を打ち消すよう運動指令を修正していることが分かりました。この結果は、運動誤差情報が運動学習を適切な方向に導く、という従来の知見と合致するものです。ところが、驚いたことに、実験 1 の結果から、運動誤差情報が次のサイクルだけでなく、2 サイクル後以降の運動指令の修正にも影響を与えており、しかもその影響は学習を促進するどころか、かえって阻害するように働いていることが明らかになりました。

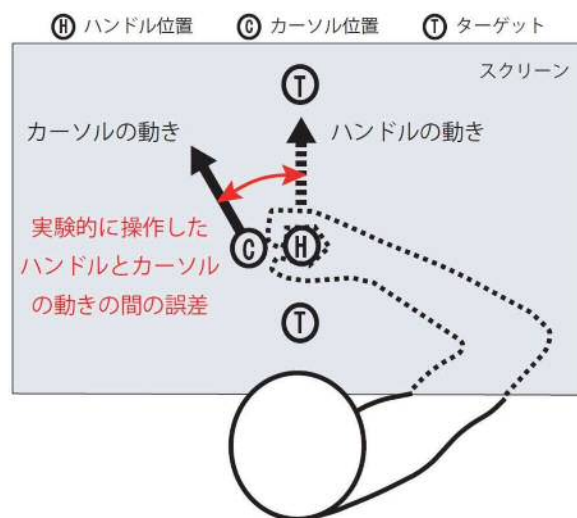


図1: カーソルを2つのターゲット間で周期的に往復させる運動課題

■実験 2■

運動誤差情報が 2 サイクル後以降の運動指令の修正に阻害するという結果が事実であれば、運動の視覚的情報を常に被験者に与え続けるよりも、数サイクルに1サイクルだけ間欠的に与えた方が運動学習の促進が観察されるはずです。なぜなら、運動誤差情報の 2 サイクル後以降の運動学習系への害悪的な影響を遮断することができるからです。

このことを確かめるために、次に、実験 1 と同じ実験システムを用いて、ハンドルとカーソルの動きが 30 度ずれる状況に被験者がどのように適応していくかを調べました。

■結果 2■

運動サイクルが増すにつれて目標からの誤差が小さくなっている、つまり、学習が進んでいることが分かります。この中で、学習の到達度(上手さ)は、視覚情報の提示の頻度によって異なっており、この実験 2 のタスクにおいては、4 サイクルに 1 回程度のフィードバックが学習の到達度を向上させていることが見て取れます(図 2)。

この結果から、予想どおり、運動の視覚的情報を4サイクルに1サイクル、あるいは5サイクルに1サイクルだけ与える方が、毎サイクル与えるよりも運動課題の学習成績が向上する、ということを発見しました。

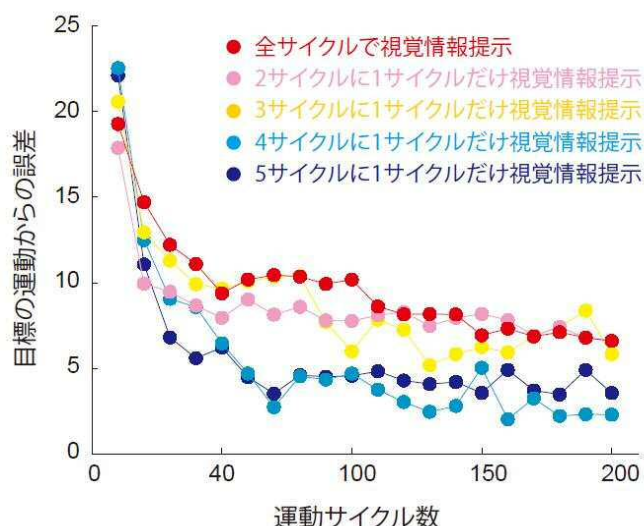


図 2: 様々な視覚情報提示条件における運動学習成績 (各データは 10 サイクル毎の運動誤差の平均値)