

論文要旨

Examining procedural consolidation with visuomotor learning in the lower limb

〔 下肢を用いた視覚運動課題においての手続き記憶の
コンソリデーションの研究 〕

有馬 美智子

【序論および目的】

リハビリテーションにおいて、歩行障害や失認、失行等への治療、その代償手段の習得などで学習という概念が重視されている。運動技能学習の課程において、その情報処理に関与した神経路の強化が不可欠である。つまり習得したい運動の実現と、それを反復して神経路の伝達効率を高めること、コンソリデーションによって組織学的に強固な神経路とすることである。

これまで研究された運動学習の課題は、手指などの細かい運動についての課題が多い。今回我々は視覚背側系を主に用いる複雑な視覚運動学習課題の神経路の強化における、阻害課題の影響を明らかにする目的で、下肢運動機能評価・訓練装置を用いて検討した。

【材料および方法】

対象は、健常人 45 名 (男性は 25 名、女性 20 名、平均年齢 29 ± 7 歳) である。対象はコントロール群、鏡像課題併用群、点対称課題併用群の 3 群に分けられた。

運動機能の評価は下肢運動機能評価・訓練装置を使って行なった。対象者はディスプレイ上の 8 の字を、足を使ってできるだけ早くできるだけ正確に描くように指導された。運動技能の訓練と評価を兼ねて、正像課題 (10 回) を 1 日目の朝に、その 5~7 時間後の夕方に 2 回目、翌日の朝に 3 回目を行った。コントロール群には、学習阻害課題は行わなかった。鏡像課題併用群には阻害課題として鏡像軌道追従課題 (以下鏡像課題)、点対称課題併用群には点対称軌道追従課題 (以下点対称課題) を 1 回目の正像課題測定の後に行なった。今回運動技能は、目標軌道と足部マーカーの運動軌道との間の軌跡誤差と所要時間の積分

値である運動・時間誤差(cm sec)の前半5回の平均値で評価した。

【結果】

正像の運動・時間誤差(cm sec)は、正像課題のみ行った群では課題施行順に平均値±標準誤差は、 3.7 ± 0.2 、 3.5 ± 0.1 、 3.1 ± 0.2 と有意に($p < 0.05$)改善がみられた。それに対して、正像課題を行った直後鏡像を行った群では、施行順に 3.4 ± 0.3 、 3.7 ± 0.4 、 2.7 ± 0.1 となり、同様にして点対称課題を行った群では 3.6 ± 0.2 、 3.6 ± 0.2 、 3.3 ± 0.2 となった。つまり正像課題のみを行った群と比べて障害課題を行った群は5~7時間後の運動学習が障害され、その程度は鏡像課題の方が点対称課題より大きい傾向がみられた。

【結論及び考察】

下肢運動追従課題で想定される情報処理系は、8の字とマーカーの位置は後頭葉を経て、頭頂連合野で認知され、さらに目標への運動を実現するために必要な肢位情報への変換を行い、運動前野にあるプログラムを選択して足を動かすものであると考えられる。

正像ではマーカーの位置と足の動く向きが同じで軌道追従は容易であるが、鏡像では見えている目標と下肢の動きが左右逆で、点対称は上下、左右とも逆となり、頭頂連合野での変換と、日常行っている正像の運動パターンの抑制が必要で、前頭前野の働きも求められる。今回コントロール群において、2回目、3回目と運動技能の改善がみられたのに対し、鏡像、点対称課題併用群共2回目は有意な改善がみられなかった。これは、正像の軌道追従を行う、後頭葉と頭頂連合野と運動前野、運動野をつなぐ神経路の強化が、それと相反する要素を持つ鏡像、点対称の課題によって、十分に行われなかったためだと考えられる。また、上下左右とも逆の点対称課題より、左右のみ逆で上下は同じ鏡像課題の方がより神経路の強化に対する障害の程度が大きいと考えられた。

本研究によって、(1)視覚運動課題において、より複雑な下肢運動機能評価・訓練装置においても、最初の課題を行なった直後に障害課題を行なうと、運動技能のコンソリデーションは起こらないだろうということがわかった。(2)またその障害の程度は鏡像課題併用群の方が大きいと思われた。

論文審査の要旨

報告番号	医論第 1461 号	氏名	有馬 美智子
審査委員	主査	小宮 節郎	
	副査	佐野 輝	中河 志朗

Examining procedural consolidation with visuomotor learning in the lower limb

(下肢を用いた視覚運動課題においての手続き記憶のコンソリデーションの研究)

運動学習には、練習後の神経路のコンソリデーションが重要である。そこで学位申請者らは、運動学習の初期の段階の阻害課題の効果、下肢運動機能評価・訓練装置（平面上を滑動する足部支持台の位置〔足部マーカー〕と目標軌道とを同一画面上に表示し、被験者に足部マーカーで目標軌道を追従させる）を用いて、複雑な視覚運動課題で検討した。

今回の研究における被験者は、健常人 45 名（男性 25 名、女性 20 名、平均年齢 29 ± 7 歳）である。被験者をコントロール群と鏡像阻害群、点対称阻害群の 3 群に分けた。運動機能の評価は下肢運動機能評価・訓練装置を使って行なった。被験者はディスプレイに示される足部マーカーの 8 の字を、足を使ってできるだけ早く、かつ正確に描くように指示された。運動技能の訓練と評価を兼ねて、正像課題（10 回）を 1 日目の朝に、その 5~7 時間後の夕方に 2 回目、翌日の朝に 3 回目を行った。コントロール群には、学習阻害課題は行わなかった。鏡像阻害群には阻害課題として鏡像軌道追従課題（以下鏡像課題）、点対称阻害群には点対称軌道追従課題（以下点対称課題）を 1 回目の正像課題測定の直後に行った。今回、運動技能の評価は、運動速度を評価に含めた指標で、目標軌道から外れた距離を時間積分したものである運動・時間誤差の前半 5 回の平均値で表した。

本研究で得られた知見は以下の 4 点である。

- 1) 正像の運動・時間誤差 ($\text{cm} \cdot \text{sec}$) は、コントロール群では課題施行順に平均値 \pm 標準誤差が、 3.7 ± 0.2 、 3.5 ± 0.1 、 3.1 ± 0.2 と有意に ($p < 0.05$) 改善がみられた。それに対して鏡像課題による阻害群は、 3.4 ± 0.3 、 3.7 ± 0.4 、 2.7 ± 0.1 となり、点対称阻害群では 3.6 ± 0.2 、 3.6 ± 0.2 、 3.3 ± 0.2 となった。
- 2) 阻害課題を行った 2 群で夕方に運動技能の改善が見られなかったのは、正像課題の神経回路の強化が、それと相反する要素を持つ鏡像、点対称の課題によって阻害されたと考えられる。
- 3) 上下左右とも逆の点対称課題より、左右のみ逆で上下は同じ鏡像課題の方が、神経回路の強化に対する阻害の程度がより大きいと考えられた。
- 4) 学習阻害群でも翌朝の改善が見られたが、これは夕方の正像課題の施行による練習効果と、睡眠が好影響を及ぼしたためと考えられた。

本研究は、下肢を用いた視覚運動課題において、学習課題を行った直後に相反する要素を持つ課題を行うことによって、運動技能のコンソリデーションが阻害されることを明らかにし、今後の運動療法を効率よく行う上で大きな示唆を与えた。よって、本研究は学位論文として十分な価値を有するものと判定した。

試験（学力確認）の結果の要旨

報告番号	医論第 1461 号	氏名	有馬 美智子
審査委員	主査	小宮 節郎	
	副査	佐野 輝	中河 志朗
<p>主査および副査の3名は、平成21年2月16日、学位請求者 有馬 美智子君に面接し、学位請求論文の内容について説明を求めると共に、関連事項について試問を行った。具体的には、以下のような質疑応答がなされ、いずれについても満足すべき回答を得ることができた。</p> <p>質問1) 頭頂葉の機能は男女差があるといわれている。今回鏡像阻害群では女性の割合が多いが、女性群で成績が悪いということは無かったか。 (回答) 特に女性の成績が悪いということは無かった。</p> <p>質問2) 異なる人を3群の課題にふりつけるのではなく、同一人が3パターンの課題を行う研究デザインが良かったのではないか。 (回答) 同一人での繰り返し測定を行うと練習効果が生まれる。本研究では練習効果を少なくして阻害効果を検討することを目的としているため、同一人で3パターンの課題を行うことはしなかった。</p> <p>質問3) 対象が20代と運動能力が高い人を選んでいるが、高齢者を対象にしたら結果も違ったのではないか。 (回答) 高齢者でも同様の結果を得たであろうと考えている。若い人を対象にした理由は、高齢者では鏡像や点対称課題自体を実行できないことが多いからである。しかし今後は、年齢による阻害効果の違いも検討してみたい。</p> <p>質問4) 利き手と利き足は同一側にあるのか。右利きの人は左足でジャンプすることが多く、利き手と利き足はお互いに反対側にあるのではないか。 (回答) 利き手が右手の場合、約90%で右足が利き足である。利き足の判定法に付いては、ボールを蹴る足を利き足とした。ジャンプのような動作では左右差は出にくいとされている。</p> <p>質問5) 検査期間を2日間に設けたのはなぜか。3~4日にわたって測定を行うと差がなくなるためか。 (回答) Shadmehr らの報告に従った。すなわち、運動技能の固定に必要な4~5時間後を設定し、さらに睡眠後の学習進行を評価するために翌日の測定を設けた。</p> <p>質問6) 各群の症例数が少ないので結果を群別の折れ線グラフで示すより、各被験者の改善率を個別に示した方が、研究の趣旨にあっているのではないか。 (回答) 対象者45人を個々に示すと煩雑になるので、3群の平均値と標準誤差で示した。前半5回の運動時間誤差が運動技能の変化をよく反映していると考え、全体の改善率は棒グラフで示した。</p> <p>質問7) 所要時間と運動時間誤差の2つのパラメーターで評価したのはなぜか。 (回答) 速さの指標として所要時間を用いた。また、正確さの指標としては、幾何学誤差より運動時間誤差の方が有意な変化が見られたため、運動時間誤差を用いた。</p>			

質問 8) リハビリテーションでは阻害課題をした方がいいのか、しない方がいいのか。

(回答) 阻害課題をしない方がよい。しない方が効率よくリハビリテーション効果が得られる。

質問 9) リハビリテーションにおけるコンソリデーションの意義をどのように考えているか。

(回答) 正しい訓練方法を繰り返すことで、運動技能のコンソリデーション (固定化) が図られる。

質問 10) 手続き記憶の意味は？

(回答) 宣言的記憶に対して運動技能は手続き記憶に分類されるが、日常での箸を使う動作、スポーツ、楽器演奏も手続き記憶になる。

質問 11) 下肢運動機能評価・訓練装置を操作する筋力は、脳卒中片麻痺下肢にもあるか。

(回答) Br.stage V ~ VI 程度の軽度麻痺患者でないと操作は難しい。

質問 12) 鏡像、点对称課題をなぜ脳損傷患者に対して課しているのか。

(回答) 前頭連合野や頭頂連合野の機能を評価するためである。

質問 13) 上肢の運動技能は脳の広い領域に関係しているので、その訓練は脳機能の回復に寄与すると考えられる。一方、それが少ない下肢での運動機能評価・訓練装置はどんな意義があるのか。

(回答) あくまでも下肢の機能回復を目的としている。また本訓練では、巧緻性を要する視覚運動訓練の量が増えることになり、背側視覚系の機能回復が期待できる。

質問 14) 本訓練はいつごろ始めるのか。

(回答) 出来るだけ早い時期に行った方が機能の回復も良いと考える。

質問 15) 運動技能の記憶はどこで行われているのか。

(回答) 簡単な運動技能は運動野のみである。今回のような複雑な適応的運動学習では頭頂連合野との神経回路を作って記憶としていると考える。

質問 16) 小脳も運動技能の記憶に関わっているのではないか。

(回答) 素早い正確な運動技能の修得には小脳が関わっている。

質問 17) 睡眠の質が手続き記憶の形成に関与するのではないか。睡眠と学習の関連は？

(回答) REM 睡眠が主に記憶の固定に関与している。しかし、最近 NREM 睡眠の stage2 も手続き記憶に関係しているという報告がある。

質問 18) 運動学習には睡眠が大切と思われるが、リハビリにどう生かしているのか。

(回答) 相反した課題を行わないことが大切である。睡眠前に訓練を行うと効果が高い。

質問 19) 熟睡は REM 睡眠を減らし、運動記憶の固定に悪影響を及ぼさないか。SSRI 等も REM 睡眠を減らすといわれている。

(回答) 今後の課題と考える。

以上の結果から、3名の審査委員は本人が大学院博士課程修了者と同等あるいはそれ以上の学力・識見を有しているものと認め、博士 (医学) の学位を与えるに足る資格を有するものと認定した。