練習で獲得したパフォーマンスのレベルと実践への 転移可能性の関係に関する研究

*How Long Can Acquisition Skill be Maintained and
Can it be Transferred to Another Task or Not?*

佐藤 洋平¹⁾ 大橋 ゆかり²⁾

YOHEI SATO¹⁾, YUKARI OHASHI²⁾

¹⁾ Ohgiya orthopaedics clinic, Famille 2F, 1-28-20, Fujigaoka, Aoba-ku, Yokohama-city, Kanagawa-prefecture 227-0043, Japan.
Tel +81 45-978-5252

²⁾ Department of Physical Therapy, School of Medical Health, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

Rigakuryoho Kagaku 30(1): 69-73, 2015. Submitted Aug. 28, 2014. Accepted Oct. 10, 2014.

ABSTRACT: [Purpose] Motor learning is a relatively permanent change in performance, and we can use what we learned when we do similar tasks. The purpose of this study was to determine the relationship between skill levels at the training time and the skill level a few weeks later. [Subjects] The subjects were 14 healthy adult men. [Methods] The task was to imitate handwriting of a model letter which was written by another person. Skill levels were deviation from the model letter. Skill levels were measured at pre-test, retention-test, and transfer-test. After the pre-test measurement, subjects performed practice until they met the criteria which was within the error range of the model letter. [Results] Significant differences were noted between two groups of subjects. In the group which acquired a higher skill level in training, learning skill could be maintained over many hours and transferred to another task. [Conclusion] The results of this study suggest that when the skill level at the end of training is high, it can be maintained over many hours and transferred to another task.

Key words: motor learning, transfer, schema theory

要旨:〔目的〕新しい技能獲得の練習終了時の技能レベルと長期的な技能保持レベルの関係を調べることにした。〔対象〕健康若年成人14名を対象とした。〔方法〕第三者の筆跡を真似ることを課題とした。練習では基準となる筆跡とのズレの許容範囲を設け、一定の基準を満たすまで練習を行った。その後実施される保持テスト、転移テストの評価得点を技能獲得レベルの高さで2群間で比較した。〔結果〕より高い技能レベルに至るまで練習を継続した群の方が良好な長期的な技能保持と学習の転移が良好であった。〔結語〕練習終了時の技能レベルが高ければその後の長期的な技能レベルの維持と学習の転移が良好であるという関係が示唆される。

キーワード: 運動学習, 転移, スキーマ理論

¹⁾ おおぎや整形外科: 神奈川県横浜市青葉区藤が丘1-28-20 ファミリー2階 (〒227-0043) TEL 045-978-5252

²⁾ 茨城県立医療大学 保健医療学部理学療法学科

I. はじめに

理学療法士が対象にする患者は動作の獲得、再獲得を目標にすることが多くあり、理学療法士は運動学習の原理を用いて運動療法や動作練習を組み合わせることで患者の運動能力の変化を引き起こし、動作の獲得・再獲得を行っていると言える。その中で患者がみせる練習中の技能レベルの変化には、一時的な練習の効果と長期的な効果が混在している。短期的な技能レベルの変化はその場で確認できるが、長期的に保持されることを特徴とする学習の効果調べるためには、練習で獲得した技能レベルが長期的に維持できるかどうかの保持効果と、練習した動作が他の動作に影響を及ぼすかどうかの転移効果を評価する必要がある。しかし、理学療法場面では練習環境や時間に制限があるため長期的な技能レベルの維持や学習の転移を調べることが困難であることが多い。そのため、練習時の技能レベルを参考にして、そのレベルが長期的に維持でき転移効果を有するかを予測して練習を終了させる必要がある。しかし、練習でどの程度の技能レベルを獲得すればよいのかについては詳しく分かっておらず、明確な理学療法実施期間（終了基準）を示すことができない。

運動学習を説明する理論の一つにスキーマ理論¹⁾がある。スキーマ理論の特徴は、一般化された運動プログラムである **generalized motor program**（以下、**GMP**）と再生スキーマ、再認スキーマという記憶の性質を用いて運動学習を説明しているところにある。**GMP**は特定のパターンを有する動作の枠組みのことであり、活動の特定の階層として記憶に貯蔵されている。特定のパターンとは、隣接する関節間の動きの関係、使用される筋群の相対的な活動量と活動のタイミングの関係、四肢の運動軌跡などのことである。**GMP**の特徴として、動作を行う速度や強度といったパラメータを変化させても、動作中の相対的な動きのタイミングや相対的な強度が変化しないことと、動作を行う身体部位が変化しても目的とする結果が得られることが挙げられる。再生スキーマは動作を構成するパラメータと過去の動作の結果との関係であり、このスキーマが指すパラメータとは絶対的な速度や強度、使用する身体部位などのことである。**GMP**に対して様々なパラメータを割り当てることで、具体的な運動を遂行することができる。また、動作の実行には適切なパラメータを予測して当てはめれば良いことから、これまでに経験したことのない動作の実行も可能であるとされる²⁾。再認スキーマは過去に行った動作の結果とその時の身体運動に伴って生じた運動感覚との関係である。運動感覚としては、動作を行った時の衝撃、四肢の運動覚、筋の収縮感覚、聴覚、視覚などが挙げられる。スキーマ理論の概念は、これを用いることで、動作を運動パターンとパラメータの関係から表すことができ、学

習の転移を調べる方法として有用である。これを臨床場面で考えると、理学療法士が対象にする患者は様々な原因によって動作能力が低下したり消失し、既存の能力で行える新しい運動パターンを獲得することを目標にすることがある。この時、限られた環境や時間の中で練習を行い、患者が日常生活という理学療法場面以外で練習した動作が行えるようにすることが求められる。この過程をスキーマ理論の**GMP**を用いて言い換えると、練習によって新しい**GMP**（運動パターン）を獲得し、練習とは異なる環境や状況に応じてパラメータを変化させた状況でも**GMP**が再現できるようになる、ということになるだろう。

練習によって生じた技能レベルの変化が一時的なものであるか、永続的な学習であるかどうかを知るためには、練習の成果の長期的な保持や転移を調べる必要がある。このことを調べるために考え出された実験方法としてトランスファー・デザイン³⁾が挙げられる。これはスキーマ理論の提唱者である **Schmidt** によって考案された運動学習の実験方法の1つである。この方法は単純で、練習試行から十分な期間を空けて再びテストを行うと、期間を空けることで一時的な変化が消失し永続的な効果として残存している学習の程度をみることができるというものである⁴⁾。トランスファー・デザインは、プレテスト、練習試行、ポストテストの3つの部分から構成される。

プレテストは学習者の運動レベルを知るために行う。練習試行で行う課題を行い、練習前の個人差を考慮するためにも必要である。練習試行では、実験の目的によって、フィードバック（以下、**FB**）の与え方や試行数などの練習条件が操作される。ここで操作した練習条件による学習の違いを調べることでより学習を促進できる練習方法などを見出していくことが可能になる。本研究ではすべての研究対象者に対して、一定の練習試行後にまとめて**FB**を与える方法を用いて統一した。この方法はサマリー**FB**⁵⁾と呼ばれ、ガイダンス仮説により、毎試行**FB**を与えるより、サマリー**FB**の方法のように、ある程度の試行後にまとめて**FB**を与えた方がより学習が促進されるとされる⁶⁻¹¹⁾。本研究ではポストテストとして保持テストおよび転移テストを施行した。保持テストでは練習試行と同じ課題を、転移テストでは異なる課題を用いた。

本研究ではスキーマ理論の**GMP**の概念を応用し、実験計画にはトランスファー・デザインを用いて、練習終了時の技能レベルと学習レベルの関係について検証を行った。

II. 対象と方法

1. 対象

研究対象者（以下、対象者）は上肢に整形外科疾患の

既往歴・現病歴のない健康成人 14 名（年齢 21.5 歳 $\pm$ 0.9 歳， $\pm$ は SD）ですべて男性であった。対象者の全員が書字動作を右手で行っていた。

2. 方法

課題は立位姿勢および座位姿勢での書字動作とした。立位書字では立位位置から 30 cm 前方に高さ 160 cm のボードを設置し、対象者の目線の高さに貼りつけた用紙に書かれた 15 cm 四方の枠の中に「ゆ」と書字させた。これを練習課題とした。座位書字での課題においては 40 cm の椅子と 100 cm の机を使用し、5 cm 四方の枠の中に「ゆ」と書字させた。これを転移課題とした。獲得させる書字動作は、対象者とは異なる第三者が書く筆跡を真似ることである。課題を行うにあたり、立位書字では、「上肢全体を使用して書字動作を行ってください」という指示を全協力者で統一して与え、座位書字では、「肩や肘を動かさず手首から先を使用して書字動作を行ってください」という指示を全協力者で統一して与えた。2 つの書字動作に対して指示の内容を変えることで、同じ GMP を有する動作で練習課題と転移課題で異なる身体部位（パラメータ）を用いた書字動作となるようにした。

実験はプレテスト、練習試行、ポストテストで構成した。まず模倣の対象となる文字（以下、手本）を対象者に 5 分間目視させた。この際、手を使って文字を擦ることを禁止した。手本を目視させた 1 分後にプレテストを行った。プレテストでは立位書字を 12 試行、座位書字を 12 試行実施し事前の評価を行った。プレテストでは、いずれの試行にも FB を与えなかった。

プレテストに続く練習試行では、立位書字 12 試行からなる 1 セッション終了後に書いた文字が定められた練習終了基準を満たしているか否かを判定した。終了基準は対象者が書いた文字が一定の誤差範囲内に収まることとした。終了基準を設定するために、手本となる筆跡の幅を 10 mm、20 mm に拡大させたものの 2 種類の参照文字を設け、対象者が書いた文字が参照文字と重なるかどうかを評価した。参照文字の幅によって対象者をランダムに 2 群（文字幅 10 mm の群、および 20 mm の群；以下、10 mm 群、20 mm 群）に分けた。文字幅を 2 種類設定することで、20 mm 群は 10 mm 群と比較し模倣の対象となる文字との誤差が大きくても重なりやすくなる。これにより、練習終了時の誤差が 2 群間で生じやすい条件を実験計画に付与した。対象者が終了基準を満たした場合にはその時点で練習試行を終了させ、基準を満たしていない場合には、セッション終了 1 分後に FB を与え、その後第 2 セッションを行った。この手順を 1 日に最大 3 セッションまで行った。FB によって与えられる情報は、対象者が書いた文字が参照文字からはみ出した試行に対して与える具体的な誤差の位置情報の FB と、

参照文字に完全に重なった試行に与える「成功」という意味の 2 種類とした。具体的な位置情報として参照文字からはみ出した部分に矢尻「△」を書き込み、参照文字との誤差を示す方法を用いた。この矢尻は対象者が書いた用紙に直接書き込み、対象者自身が見て誤差が確認できる方法で呈示した。この印はすべて同じ大きさで示し、はみ出した部分の両端に 1 つずつ書き記した。この方法ではどれくらい指標からはみ出したかという誤差の大きさは示されないが、印から次の印までの距離が指標からはみ出した範囲を示しており、矢尻の先端が向いている方向へ文字を修正することを意味している（図 1）。対象者には実験を開始する前に FB 方法の説明を行い、FB 方法が理解できたことを確認してから実験を開始した。また、練習試行数に対する FB の量の関係が変化すると運動学習に与える影響が異なる可能性がある。そこで、2 群間で練習試行数と FB の量の関係が同一になるよう、FB は各セッション終了後に 12 試行分すべてに対してまとめて与えた。FB に成功試行を含む場合には、成功試行の文字には何も書き込まずに与えた。例えば、12 試行中 5 試行成功し 7 試行失敗した場合には、7 試行で誤差を書きこんだ FB、5 試行分は何も書きこまない文字の FB になる。練習セッションの 12 試行中 8 試行以上で、対象者の書いた文字が各群の参照文字に完全に重なることを終了基準とした。基準を満たしたら練習を終了させ、ポストテストへ移行した。

図1 FBの与え方

ポストテストは、練習終了から1, 2, 3週間後に立位書字・座位書字それぞれ12回ずつ行った（以下、順に保持1, 2, 3）。練習課題の技能レベルの維持の評価を保持テストで行い、転移課題である座位書字で筆跡が再現できるかどうかを転移テストで評価した。また、ポストテスト期間にはFBは与えなかった。

分析の対象には手本と対象者の文字を重ねた時に囲むことのできる面積（以下、誤差面積）を用いた。誤差面積は、これを用いることで、手本からどのくらい逸脱しているかを定量的に計測することが可能になり、手本とする筆跡との類似性を評価する指標になる。

誤差面積の測定にはプランニメーター（TAMAYA PLANIX 10S）を使用した。分析に使用した手本の文字は、練習終了判定に使用した指標の原型の文字である。一つの試行に対して3回繰り返して測定し、3回の平均値を求めた。1セッション12試行分に対する平均面積と標準偏差を算出した。

平均面積は手本との類似性を示しており、値が小さいほど手本と類似した文字が書かれていることになる。また、標準偏差は1セッション内の誤差面積のバラツキを示しており、値が小さいほどセッション内で書く文字が安定して繰り返されていることを表している。

本研究では、練習課題および転移課題のそれぞれについてプレテスト時の誤差面積を100%とする、誤差面積の変化を百分率で算出した。そして、最終練習時および保持1, 保持2, 保持3, または最終練習時および転移1, 転移2, 転移3を対象者内要因の水準、成績良好群、不良群を対象者間要因の水準とする2要因分散分析により解析を行った。統計解析にはIBM SPSS Statistics 21を用いた。

なお、本研究はその内容に関して著者の関係する機関の倫理委員会により承認を得た計画に則り、全対象者から書面による同意を得たうえで実施されたものである（承認番号329）。

III. 結 果

本研究では、練習終了時の技能獲得レベルに差異を付けることを目的として、手本からの誤差の許容範囲の異なる2群を設けた。しかし、結果として、この群分けは上手く機能せず、どちらの群にも、練習終了時に誤差の

小さい対象者と誤差の大きい対象者が含まれていた。そこで、新たに、最終練習セッションにおける誤差面積の大きさで対象者を2群に分け、誤差面積の小さい7名を良好群、その他の7名を不良群とした。良好群が行ったセッション数は平均7.1回（最少5回、最大12回）、不良群は平均3.7回（最少2回、最大6回）であった。また、与えられたFBの総数は良好群では平均75.4個、不良群では平均32.6個であった。

保持テストにおける手本からの誤差の推移を対象者内要因、良好群・不良群のグループを対象者間要因とする分散分析の結果、グループ要因の主効果（ $df=3/36$, $F=6.539$, $p=0.001$ ）および交互作用（ $df=3/36$, $F=5.350$, $p=0.004$ ）が有意であった。下位テストとして、対応のないt検定を用いて、最終練習試行、保持1, 保持2, 保持3それぞれにおけるグループ間の比較を行った。その結果、最終練習試行において不良群に比し良好群の誤差が有意に小さく（ $t=4.770$, $p<0.01$ ）、保持1では不良群に比し良好群の誤差が小さい傾向（ $t=1.895$, $p=0.08$ ）が見られた（表1）。

また、転移テストにおける手本からの誤差の推移を対象者内要因、成績良好群・不良群のグループを対象者間要因とする分散分析の結果では、交互作用のみが有意であった（ $df=3/36$, $F=3.811$, $p=0.018$ ）。下位テストとして、対応のないt検定を用いて、最終練習試行、転移1, 転移2, 転移3それぞれにおけるグループ間の比較を行った結果、最終練習試行においてのみ有意差が見られ（ $t=1.028$, $p<0.01$ ）、不良群に比し良好群の誤差が小さかった（表2）。

IV. 考 察

本研究の結果から、練習課題を行うことで誤差面積を指標にした技能獲得レベルが不良群に比較して良好群で高くなり、転移課題にも練習の効果が反映され、さらに良好群で短期的ではあるが技能レベルの維持される可能性のあることが示された。

本研究では、運動学習を評価する方法として、書字動作を用いた実験計画を立てた。書字動作は、パラメータが変化しても同じ字体が書けることが証明されており¹⁾、運動プログラムの存在を説明できる運動である。運動学習の研究を行う際には、実験開始時の条件を揃える必要

表1 保持テストにおける良好群・不良群の成績

		終了	保持1	保持2	保持3
良好群	平均値 (%)	54.17	66.17	76.65	76.69
	標準偏差	12.84	20.85	16.40	21.00
不良群	平均値 (%)	79.44	84.42	81.98	80.19
	標準偏差	5.61	14.65	17.92	11.70

表2 転移テストにおける良好群・不良群の成績

		終了	転移1	転移2	転移3
良好群	平均値 (%)	67.20	74.43	78.19	81.67
	標準偏差	15.72	14.75	18.10	15.64
不良群	平均値 (%)	98.12	80.76	82.36	84.31
	標準偏差	11.19	6.92	19.55	20.19

があり、運動経験が研究対象者によって異なると学習に及ぼす影響も異なる可能性がある。そこで、運動学習を研究するには研究対象者が経験したことのない運動を課題に用いることが望ましい。書字動作は自分固有の字体を書くことが通常である。他人の字体を真似して書くという状況はほとんどないため、他人の字体を書く事は新規の運動を行うことであり、運動学習を研究するには適した課題であるといえる。また、この動作は上肢全体を使った書字と手首から先を使う書字では運動を行う身体部位を変化させることができ、運動の転移を評価することに適している。本研究において、転移課題の最終練習試行で有意な誤差の差が見られ、転移課題の技術向上に影響を及ぼしたことから、今回用いた練習計画が運動学習を評価する方法として有用であると考えられる。

今回の研究では、練習を終了させる基準を2群間で異なる条件に設定した。それによって、終了時の技能レベルが2群間で差がつくことを想定したが、実際には差がみられなかった。そこで、新たに群分けを行った結果、良好群で有意な学習効果がみられた。この結果は、練習を終了させた時点での技能レベルがその後の長期的な経過に影響を及ぼすことによると考えられ、臨床場面においても患者が向上できる技能レベルをセラピストが的確に見極め、患者の本来持っている技能向上の可能性を狭めないことの重要性を示している。本研究においても練習期間で練習技能をより向上させていれば、より良好な転移や保持がみられたのではないかと考えられる。

また、今回保持テストとして練習終了から1週間ずつ間隔を空けて実験を行った。一週間後の保持テストで2群間に差がある傾向がみられたが、1週間の間隔が空いたことで練習で獲得された技能の忘却が進んでしまい、明確な差として確認されなかった可能性がある。このことより、より短い期間で保持テストを行うことで、1週間の間に生じる練習で獲得した技能の推移が確認でき、明確な学習レベルの評価ができると考えられる。実際の理学療法場面では、1週間必要な練習を行わずに過ごすことはなく、自主練習を含めて保持期間はより短いことから、保持期間の評価をより短い間隔で行う必要があ

ると思われる。

今回用いた方法はスキーマ理論を用いた運動学習研究方法として有効性を示した。今後は、練習でのパフォーマンスレベルや保持期間を再考し、練習終了時の技能レベルと保持・転移の関係を検証していく必要がある。

引用文献

- 1) Schmidt RA: Motor control and learning a behavior emphasis. Human Kinetics, Champaign, 1988, pp240-242, 346.
- 2) Schmidt RA: A schema theory of discrete motor skill learning. Psychol Rev, 1975, 82(4): 225-260.
- 3) 大橋ゆかり. セラピストのための運動学習ABC. 文光堂, 東京, 2004, pp11-13.
- 4) Wulf G, McConnel N, Gartner M: Enhancing the learning of sport skills through external-focus feedback. J Mot Behav, 2002, 34(2): 171-182.
- 5) Lavery JJ: Retention of simple motor skills as a function of type of knowledge of results. Can J Psychol, 1962, 16(4): 300-311.
- 6) Salmoni AW, Schmidt RA, Walter CB: Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. Psychol Bull, 1984, 95(3): 363-364.
- 7) Schmidt RA, Young DE, Swinnen S, et al.: Summary knowledge of results for skill acquisition: support for the guidance hypothesis. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 1989, 15(2): 352-359.
- 8) Wulf G, Schmidt RA, Deubel H: Reduced feedback frequency enhances generalized motor program learning but not parameterization learning. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 1993, 19(5): 1134-1150.
- 9) Winstein CJ, Schmidt RA: Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 1990, 16(4): 677-691.
- 10) Wrisberg CA, Wulf G: Diminishing the effects of reduced frequency of knowledge of results on generalized motor program learning. J Mot Behav, 1997, 29(1): 17-26.
- 11) Wulf G, Schmidt RA: The learning of generalized motor programs: reducing the relative frequency of knowledge of results enhances memory. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 1989, 15(4): 748-757.