

[資料論文]

協応動作における同時的フィードバックと 最終的フィードバックの比較

向井 香瑛 (愛知教育大学大学院教育学研究科)
筒井清次郎 (愛知教育大学教育学部)

Compare the Effect of Terminal Feedback with that of Concurrent Feedback on a Bimanual Coordination Task

Kae MUKAI¹⁾, Seijiro TSUTSUI²⁾

【Abstract】

The purpose of this study was to compare the phase difference learning effect of terminal feedback with that of concurrent feedback on a bimanual coordination task. The task was a bimanual coordination sliding a periodic movement plus phase into 1/4th of a phase. Participants were divided into two groups so that there were six males and six females each group. A concurrent group could see visual concurrent feedback from a monitor during the movement every trial. A terminal group could see the visual terminal feedback after the movement on each trial. 5 pretest trials were performed. The participants carried out 45 acquisition trials (15 trials x 3 sets) for three days. 2 retention test trials were performed one week after acquisition trials. The main results were as follows:

- 1) 2nd and 3rd days were better than 1st days, and 3rd days was better than 2nd days.
- 2) 2nd and 3rd sets were better than 1st set.

Therefore, there was no difference between the effect of terminal feedback and that of concurrent feedback on this task.

Keywords : motor learning, augmented feedback, acquisition trials, retention test

キーワード : 運動学習、外在的フィードバック、習得試行、保持テスト

1) Graduate School of Education, Aichi University of Education

2) Faculty of Education, Aichi University of Education

I. 緒言

運動学習 (motor learning) とは、目標値と運動結果との差を最小化する技能を獲得することであり、この差は達成度を評価する観点からは誤差 (error) とよばれている (吉田, 2008)。

運動学習において、学習者は学習中に受け取るフィードバックを手がかりにしながら誤差検出能力を高めながら学習を進める (Schmidt, 1975)。このフィードバックにはさまざまな種類がある (関矢, 2008)。情報源別にみると内在的フィードバック (Intrinsic feedback) と外在的フィードバック (Extrinsic feedback) に分けられる。内在的フィードバックとは運動によって生じる感覚情報のうち自分自身で感じることであり、視覚的情報や筋感覚的情報などである。外在的フィードバックは外部から人工的に与える情報であり、学習初期など筋感覚的な情報を十分に感じることのできない場合の試行後の画像再生などである。その中で外在的フィードバックを内容別にみると、結果の知識 (Knowledge of Results) と遂行の知識 (Knowledge of Performance) に分けられる。結果の知識は、ゴールタイムや得点など、遂行後に生じる運動結果に関する情報であり、遂行の知識は、指導者から与えられる動きの特徴など、遂行中の運動経過に関する情報である。次にフィードバックが学習者に与えられるタイミング別にみると、同時フィードバック (Concurrent feedback) と最終フィードバック (Terminal feedback) に分けられる。同時フィードバックは運動遂行中に与えられるフィードバックであり、最終フィードバックは運動終了後に与えられるフィードバックである (関矢, 2008)。

この同時フィードバックと最終フィードバックの効果について、工藤ほか (1977) は、直径15cmの円を描く実験課題を用いて、習得期間および保持テストにおける運動パフォーマンスを検討している。同時フィードバック群は運動遂行中に内在的フィードバックと視覚的外在的フィードバックの両方を同時に利用することができる。これに対し、最終フィードバック群は運動遂行中に内在的フィードバックのみを利用し、遂行後に視覚的外在的フィードバックが与えられる。その結

果、保持テストにおいて、最終フィードバックの運動パフォーマンスは、同時フィードバック群よりも優れていた。この要因として、同時フィードバック群の多くが、習得期間中に、視覚的フィードバックを重視してしまい、運動感覚フィードバックにほとんど注意を向けていないため、視覚的フィードバックが得られない保持テストに向けたトレーニング効果が期待できないことが考えられる。

Schmidt (1975) が提唱したスキーマ理論では、学習者は運動遂行時に特定された動かし方に関する決定内容と、それによる動作結果との間に存在するルール (スキーマ) を覚えながら学習を進めるとされている。これには、特定の動作に共通する運動プログラムを持つ必要があり、学習者はこの運動プログラム上に代入される変数 (パラメータ) を多様に経験することで動作修正を行う。工藤ほか (1977) が用いた課題は、身体と手足の協応が既に学習されており (学習前から円を描くことはできる)、学習の目標が最適なパラメータの獲得のみ (大きさを調整する) を必要とする課題である。Swinnen et al. (1998) は、協応動作課題には運動プログラムを獲得する段階と最適なパラメータを調整する段階の両方が含まれるとしている。工藤ほか (1977) のパラメータの獲得のみを必要とする課題における知見は、運動技能の新たな習得を必要とする協応動作課題 (たとえば、泳ぎ方や自転車の乗り方の習得) には、必ずしも適用できないことが、いくつかの研究 (Tsutsui et al., 2003; 田中・筒井, 2003) で報告されている。

協応動作課題の重要な特徴として、学習者にとって新奇的な課題で学習前に差がないこと、学習者が未習得の状態から習得期間内に習得することができること、さらに運動パターンの変容などを正確に数値で測ることができることの3点が挙げられる。これらの3点を満たす課題の1つとして、両手協応課題 (Tsutsui et al., 1998) が挙げられる。Tsutsui et al. (1998) が用いた両手協応課題は両腕の内転-外転動作による周期的運動の1/4周期 (90度) の位相差を習得するものであった。これは、学習者にとって新奇であるため全く遂行できない段階から習得できるまでの学習課

題を調べることができ、また、運動パターンの変容も、左右の手の最大内転・外転位置に達した位相差を数値として把握できる。

Tsutsui et al. (2003) は、両手協応課題学習における手引き指導の効果を検討した。手引き指導とは、指導者が学習者の身体を直接動かすことにより目標となる運動に伴う運動感覚を学習者に伝えようとする指導方法である(田中, 2008)。ここでは、手引き指導の使用は、学習者自身が既に遂行できる課題に対しては有効でないが、学習者自身が遂行できない課題に対しては有効であることが示された。

これらのことから、工藤ほか(1977)が用いた、学習以前に既に運動プログラムが獲得されており、最適なパラメータを調整するのみの課題と、運動プログラムの獲得から必要な協応動作課題学習では、学習中に用いる同時フィードバックの効果が異なることが考えられる。すなわち、パラメータ調整するのみの課題では効果的でない同時フィードバックが、運動プログラムを習得する協応動作課題では、最終フィードバックと同等、もしくは、それ以上に効果的であることも考えられる。

そこで、本研究では、両腕の内転-外転動作による周期的運動の1/4周期(90度)の位相差を習得する両手協応課題において、同時フィードバックと最終フィードバックの違いにより誤差の低減の程度を比較することを目的とする。

II. 方法

1. 実験期間

2014年10月上旬～11月下旬に行われた。

2. 対象者

対象者は、18歳から22歳の大学生(男子12名、女子12名)の計24名であった。平均年齢は21.04歳、標準偏差(Standard Deviation, 以下, SD)は1.04であった。

3. 課題及び実験装置

課題は、両腕の内転-外転動作による周期的運動の1/4周期(90度)の位相差を習得する両手

協応課題が用いられた。

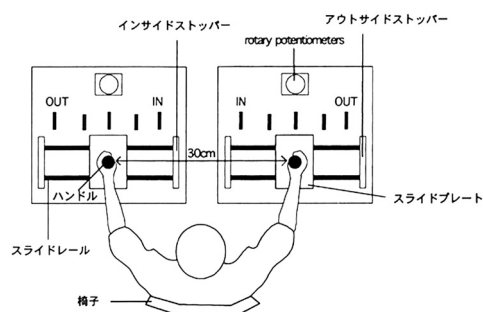


図1 実験装置

図1は、実験課題を構成する装置を示したものである。2台の金属プレートは、机上に設置され固定された。金属プレートの上にそれぞれ2つの平行な金属レールが取り付けられ、その上にボールベアリングによって接触するスライドプレートが乗せられた。左右2つのスライドプレート上には、それぞれハンドルが直立して取り付けられた。さらに金属プレート上には、対象者が実際に往復運動させる範囲を示すために、運動範囲の内側と外側に「IN」と「OUT」の表示が設けられた。左右の実験装置にそれぞれ表示されている「IN」と「OUT」の距離は9cmであり、「IN」表示の内側及び「OUT」表示の外側それぞれ3.5cmのところにとり止めるストッパーが取り付けられた。したがって、左右の実験装置の可動範囲がそれぞれ16cmであった。さらに、レールと平行に回転式ポテンシオメータ(rotary potentiometers)が接続された。学習者は2つのハンドルの中央に身体の中心が位置するように椅子に座り、各自が両腕を動かしやすいように椅子の位置や高さや器具の位置を調整できるようにした。

スライドプレートの位置は、回転式ポテンシオメータから取り込まれ、運動スキル収録プログラム(竹井機器工業に特別注文)により、連続線としてコンピュータのモニターに表示された。表示される図は右手の位置がx軸を、左手の位置がy軸をそれぞれ表す。両腕の位相差を1/4周期に保てた場合にコンピュータのモニター上に正円は描かれるように数値変換され、ディスプレイ上に描画される設定であった。

試行時間は1試行10秒間であり、対象者は聴覚メトロノームに合わせ、両腕の内外転の往復運動を行った。聴覚メトロノームの周波数は2.5Hzであった。

4. 手続き

(1) 群分け

本実験は、同時フィードバック群、最終フィードバック群の2群で計画され、対象者は2群のいずれかに12名（男子6名、女子6名）ずつ割り当てられた。自分自身の運動についての視覚的フィードバックに加え、同時フィードバック群（以下、同時群）は、遂行中にコンピュータのモニターから両腕の位相を示す視覚的同時フィードバックが与えられた。最終フィードバック群（以下、最終群）は、試行後に両腕の位相を重ね書きした視覚的最終フィードバックが与えられた。

(2) 教示内容

実験開始直前にすべての対象者に対して以下の教示を行った。

- 1) 両腕が左右対称運動をした場合は、モニター上に右上がりの直線が描かれる。
- 2) 両腕が左右反転運動をした場合は、モニター上に左上がりの直線が描かれる。
- 3) 1/8周期（45度）の位相差を遂行した場合は、モニターに右上がりの楕円形が描かれる。
- 4) 1/4周期（90度）の位相差を正しく遂行できた場合は、モニターに正円が描かれる。
- 5) 3/8周期（135度）の位相差を遂行した場合は、モニターに左上がりの楕円形が描かれる。
- 6) 片方のスライドプレートの位置が「IN」および「OUT」上にある時にそれぞれメトロノームと同期させる。

(3) スケジュール

1日目にプレテスト5試行を行い、習得試行45試行（15試行×3セット）を行った。2日目と3日目は習得試行45試行のみを行った。習得試行が終了した1週間後に保持テスト2試行を行った。

5. 分析方法

対象者の両腕の各周期における最大内転時及び最大外転時の位置と時間の相対位相（relative phase）が算出された。両手の位相差は、先行する手の操作するスライドプレートの位置の最大内転、及び最大外転到達時に求められた。各試行で算出された両手の位相差は、目標とする位相差と遂行された位相差との絶対恒常誤差（Absolute Constant Error, 以下、ACE）が正確性を表す指標として用いられた。また、1試行中にどれだけ安定した動きを再現することができたのかを表す指標としてSDが用いられた。両手協応課題は、習得期初期には生得的な動作パターンである左右対称動作（in-phase）及び左右反転動作（anti-phase）の2つのパターンに収束する傾向がある（Kelso, 1984）。すなわち、習得期初期にはSDの値が小さくなり、ACEの値が大きくなる。そこで、パフォーマンスの正確性と安定性を総合的に評価するために、Henry（1975）の平均平方偏差（Root Mean Square Error, 以下、RMSE）が指標として用いられた。RMSEはACEとSDの各二乗の和の平方根で求められる。ACE、SD及びRMSEいずれも値が小さいほどよい成績であることを示す。計算式は以下の通りである。

$$RMSE = \sqrt{(ACE^2 + SD^2)}$$

6. 統計処理

習得試行については群（2）×練習日（3）×セット（3）の3要因分散分析（ANOVA）を用いた。F値が有意であった項目についてはライアン法による多重比較を行った。プレテストと保持テストについては群間を比較するために対応のないt検定を用いた。統計的検定の有意水準は5%とした。

III. 結果

1. プレテストについて

プレテストのRMSEについて、対応のないt検定（ $t(22) = 0.06$ ）の結果、群間に有意な差はみられなかった。

表1 プレテスト・習得試行および保持テストにおける各群のRMSEの平均値と標準偏差

		プレ	1日目			2日目			3日目			保持
		セット	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
同時群	平均値	63.47	59.77	41.96	45.65	34.94	31.18	31.29	28.47	28.14	25.17	32.36
	標準偏差	28.25	21.24	15.27	18.96	18.37	12.72	12.08	11.90	8.66	8.40	21.68
最終群	平均値	64.22	69.37	52.31	43.27	37.67	31.02	28.69	23.82	28.47	23.74	24.45
	標準偏差	29.86	24.69	21.02	27.45	18.08	10.66	7.23	6.38	8.17	6.54	11.68

2. 習得試行について

練習日の主効果 ($F(2, 44) = 48.712, p < .001$), セットの主効果 ($F(2, 44) = 25.524, p < .001$), 練習日とセットの交互作用 ($F(4, 132) = 9.473, p < .001$) が有意であった。また、群の主効果 ($F(1, 22) = 0.076, p > .05$), 群とセットの交互作用 ($F(2, 44) = 2.482, p > .05$), 群と練習日の交互作用 ($F(2, 44) = 1.105, p > .05$), 群と練習日とセットの交互作用 ($F(4, 88) = 1.376, p > .05$) は有意ではなかった。

練習日とセットの交互作用について練習日ごとに単純主効果の検定の結果 (図2), 練習日ごとにみると, 1日目においては, 1セット目よりも2セット目と3セット目の誤差が小さかった。2日目においては1セット目よりも3セット目の誤差が小さかった。セットごとにみると, 1セット目においては1日目よりも2日目と3日目の誤差が小さく, 2日目よりも3日目の誤差が小さかった。2セット目と3セット目においては1日目よりも2日目と3日目の誤差が小さかった。

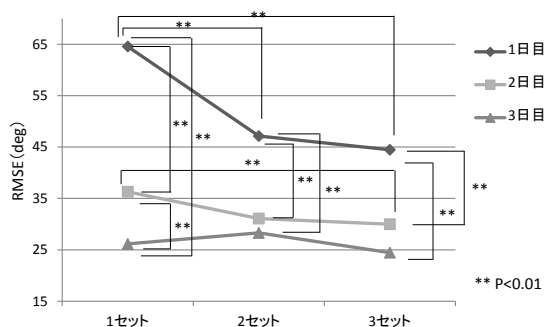


図2 習得試行における練習日別の各セットのRMSEの平均値

3. 保持テストについて

保持テストのRMSEをみると最終群の誤差が同時群よりも小さかったが, 対応のないt検定 ($t(22) = 0.31$) の結果, 群間に有意な差はみられなかった。

IV. 考察

本研究は, 両腕の内転-外転動作による周期的運動の1/4周期(90度)の位相差を習得する両手協応課題において, 同時フィードバックと最終フィードバックの違いにより, 習得試行と保持テストにおける誤差の低減の程度を比較したものである。

プレテストにおけるRMSEについては, 群間に有意な差はみられなかった。この結果は, 練習開始前に各群の課題遂行能力に差がないことを示している。

習得試行におけるRMSEについては, どの練習日, セットにおいても同時フィードバック群と最終フィードバック群の間に有意差はみられなかった。この結果から, 1/4周期(90度)の位相差を習得する両手協応課題においては, 習得試行における同時フィードバックと最終フィードバックの効果に差が認められなかった。

同時フィードバック群と最終フィードバック群間に有意な差が見られなかったことは, 工藤ほか(1977)の結果とは異なってくる。工藤ほか(1977)が用いた実験課題では, 対象者は学習前に“円を描く”という運動プログラムを習得しており, 習得しなければならないのは円の大きさというパラメータのみであった。これに対し, 本研究で用いた実験課題では, 対象者が1/4周期(90

度)の位相差という新たな運動プログラムを習得しなければならなかった。両研究の結果が異なった要因はここにあると考えられる。

保持テストにおいても、同時フィードバックと最終フィードバックの効果には差がみられず、工藤ほか(1977)の結果と異なっている。この理由も、工藤ほか(1977)が用いた実験課題では、習得しなければならないのはパラメータのみであったのに対し、本研究で用いた実験課題では、新たな運動プログラムを習得しなければならなかったためと考えられる。

本研究で用いた両手協応課題は、学習者にとって新奇的な課題であるため、運動プログラムの獲得から学習を始めなければならず、運動プログラムが構築されたのちに課題に対する最適なパラメータを学習していく。つまり、学習初期は運動プログラムを習得することが必要となる。運動プログラムを獲得する段階である学習初期は、同時フィードバックは最終フィードバックと同等に有効であると考えられるが、最適なパラメータを学習する段階では、工藤ほか(1977)の結果から最終フィードバックのみが有効であると考えられる。

実際の教育現場や指導現場に目を向けると、運動課題は最適なパラメータのみを調整する課題と運動プログラムを習得する課題が混在している。そのため、学習者が新しい運動課題を学習する際、それぞれの運動課題の特性を考慮して、有効なフィードバックは何かを考慮する必要がある。

V. まとめ

本研究では、1/4周期(90度)の位相差を習得する両手協応動作において同時フィードバックと最終フィードバックの違いにより誤差の低減の程度を比較した。習得試行は3日間で行われ、習得試行終了1週間後に保持テストが行われた。

習得試行及び保持テストのRMSEにおいて、同時フィードバック群と最終フィードバック群の間に有意な差はみられなかった。

運動プログラムを獲得していない新奇的な課題においては、パラメータのみを学習する課題と異なり、同時フィードバックと最終フィードバックの効果に差がみられなかった。

付記

本研究は、第2著者の科学研究費(基盤研究(C)25350758 テーマ 学習中の成績をも低下させずに学習効果を高める運動学習スケジュールに関する研究)の助成を受けた研究の一部である。

引用文献

- Henry, F. M. (1975) Absolute error versus "E" in target accuracy. *J. Mot. Behav.*, 7 (3) : 227-228.
- Kelso, J. A. S. (1984) Phase transitions and critical behavior in human bimanual Coordination. *Am. J. physiol., Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 246 (6) : R1000-1004.
- 工藤孝幾・遠藤辰雄・鈴木久美子(1977)運動学習における視覚フィードバックの評価—同時フィードバックと最終フィードバックによるトレーニングの効果の比較—。体育の科学, 27 (8) : 592-597.
- Schmidt, R. A. (1975) A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol. Rev.*, 82 (4) : 225-260.
- 関矢寛史(2008)技能評価・フィードバック③FBの分類。日本スポーツ心理学会編, スポーツ心理学辞典, 大修館書店:東京, pp. 188-192.
- Swinnen S. P., Lee, T. D., Verschueren S., Serrien D. J., and Bogaerds H. (1997) Interlimb coordination : Learning and transfer under different feedback conditions. *Hum. Mov. Sci.*, 16 : 749-785.
- 田中雅人(2008)学習過程・練習法③体験的練習法。日本スポーツ心理学会編, スポーツ心理学辞典, 大修館書店:東京, p. 209
- 田中智子・筒井清次郎(2003)ボール投げ課題における要約フィードバックと結果についての自己評価の効果。体育学研究, 48 (1) : 37-44.
- Tsutsui S., Lee T. D., and Hodges N. J. (1998) Contextual interference in learning patterns of bimanual coordination. *J. Mot. Behav.*, 30 (2) : 151-157.
- Tsutsui S., Imanaka K., (2003) Effect of manual guidance on acquiring a new bimanual coordination pattern. *Res. Q. Exerc. Sport.*, 74 (1) : 104-109.
- 吉田茂(2008)技能評価・フィードバック②誤差評価。日本スポーツ心理学会編, スポーツ心理学辞典, 大修館書店:東京, pp. 185-188.