言語的フィードバックの付与タイミングの違いが 運動学習に与える影響

The Learning Effects of Verbal Feedback Used in Parallel with and without Movement

山本 良平^{1,2)} 大橋 ゆかり³⁾

RYOHEI YAMAMOTO^{1,2)}, YUKARI OHASHI³⁾

¹⁾ Graduate School of Health Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences: 4669-2 Ami, Ami-machi, Inashiki-gun, Ibaraki 300-0394, Japan. TEL+81 298-88-4000 E-mail: 45040054@ipu.ac.jp

²⁾ Aida Memorial Hospital

³⁾ Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

Rigakuryoho Kagaku 30(5): 765–769, 2015. Submitted May 11, 2015. Accepted Jun. 18, 2015.

ABSTRACT: [Purpose] Differences in the effects of verbal feedback used concurrently or terminally were investigated. [Subjects] Twenty-four young adults participated in this study. [Methods] The subjects were quasi-randomly assigned to one of two groups: the concurrent feedback group or the terminal feedback group. The learning task was moving the right toe forward to the target height. [Results] Performances in practice and the retention test were similar in both groups. In the concurrent feedback group, performances of trials provided with feedback in each block were more accurate than those of trials done before being provided with feedback. Meanwhile, in the terminal feedback group, performances were similar in the first and final trials in each block. [Conclusion] These results suggest that the effects of practice with concurrent feedback are as beneficial as that with terminal feedback, but that performances vary in a different way between groups.

Key words: motor learning, verbal feedback, feedback timing

要旨:〔目的〕言語的なフィードバック（FB）の付与のタイミングが、運動学習と練習パフォーマンスに与える影響を明らかにすることとした。〔対象〕健常若年成人 24 名を対象とした。〔方法〕対象を同時フィードバック（CF）群と最終フィードバック（TF）群の 2 群に分けた。学習課題は右脚の振り出し課題とした。右脚の軌跡の目標値からの変位の平均値（RMSE）を学習の指標とした。〔結果〕両群ともに RMSE が減少し、学習が認められた。CF 群では練習中の FB 対象試行がその前の試行と比較して有意に小さい値を示したが、TF 群では有意差を示さなかった。〔結論〕言語的な CF と TF は同様の学習効果をもつが、パフォーマンスを変化させるタイミングが異なると示唆された。
キーワード: 運動学習, 言語的フィードバック, フィードバック・タイミング

¹⁾ 茨城県立医療大学大学院 保健医療科学研究科: 茨城県稲敷郡阿見町阿見 4669-2 (〒300-0331) TEL 0298-88-4000

²⁾ 会田記念リハビリテーション病院 リハビリテーション部

³⁾ 茨城県立医療大学 理学療法学科

I. はじめに

理学療法士は患者の運動学習を図る際に、歩行中の関節角度や姿勢に関する情報を口頭で伝達することで、フィードバック（以下、FB）を与えることがある。谷¹は、理学療法における徒手療法などの治療技術に加えて、誰にでも行うことのできる口頭による指示や伝達の重要性を述べている。従来の基礎的研究では、動作遂行中に与えられるFBを同時FB（concurrent feedback, 以下、CF）と呼んでいる。CFに関する先行研究は視覚情報を用いたものがほとんどであり、結果としてCFは練習中のパフォーマンスには効果的に働くが、運動学習には効果的ではないと報告されている²⁻⁵。また、Kohlら⁶は、信号音を用いて聴覚性CFが運動学習に与える影響を検証するために、一連の研究を行った。その結果、聴覚性CFの効果は視覚性CFと同様の傾向を示し、ガイダンス仮説を支持するものであったと報告している。ガイダンス仮説とはSalmoniら⁷によって提唱された仮説であり、FBは誤差を知らせる情報であるという性質から、高頻度あるいは即時的なFBには、練習中の学習者のパフォーマンスをより誤差の小さいものへと誘導する作用があると考えられている。そのため、学習初期段階の学習者にとっては、高頻度あるいは即時的なFBは正しい運動パターンを導くので、運動学習にも効果的に働く場合があるとされている。しかし、学習がある程度進んだ学習者にとっては、高頻度あるいは即時的なFBは、学習者のFBへの依存を強めてしまい、学習者の内在性FBなどの学習において重要とされる因子を阻害する可能性がある。Kohlら⁶の報告から、音刺激によるCFは視覚性のCFと同様の効果を有すると考えられるが、臨床では音刺激よりもむしろ言語情報を用いてFBが与えられることが多い。言語情報を用いた動作終了後のFB（terminal feedback, 以下、TF）においては、FBが高頻度で用いられる場合には学習者のFBへの依存性を誘発する。そのため、高頻度の言語的FBは練習中のパフォーマンスには効果的に働くが、運動学習には効果的に働かなかった⁶。一方、低頻度の言語的FBでは学習者の練習中のパフォーマンスが十分に改善しなかったと報告されている⁸。これらの結果から、言語的なFBもガイダンス仮説を支持すると考えられる。

これらの先行研究の結果から、聴覚性CFの運動学習への効果は視覚性CFと同様のものであると考えられる。しかし、言語的FBを動作遂行中に用いた研究は見受けられず、理学療法士が用いているFB付与方法が、患者の学習を促すような効果的なものであるかどうかは明らかとなっていないのが現状である。そこで本研究では、言語的FBを用いてその付与のタイミングの違いが、運動学習および練習中のパフォーマンスに与える影響を明らかにすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

本研究では、健康若年成人24名（男性16名、女性8名、平均年齢 22.8 ± 2.4 歳、 $\pm$ はSD）を対象とした。全ての対象者は、過去に本研究で用いた課題を行った経験はなかった。なお、本研究は茨城県立医療大学の倫理委員会の承認を得た上で実施した（承認番号：493）。対象者には、事前に本研究の内容および結果の取り扱いについて研究説明書と口頭で説明した上で協力を依頼し、書面にて承諾を得た。

2. 方法

本研究で用いた課題は、右足先を棘果長の55%の高さまで垂直挙上し、その高さを維持して前方へ振り出す動作とした。振り出し距離は目標の高さと同様に、棘果長の55%の長さとした。また、課題は立位姿勢で行わせた。その際、対象者は発泡スチロールで作成した板（30 cm × 21 cm）を胸部前方に取り付け、試行中の下肢の運動を視覚的に捉えられないようにした上で、前方に配置した注視点を注視させた。実験環境を図1に示す。課題動作の遂行時、対象者にはスピーカーから1秒間隔で鳴る信号音に合わせて動作を行わせた。1試行は挙上、前方への水平移動、開始位置への復帰の3行程、3秒間で構成した。なお、対象者には課題動作を6試行連続して遂行させ、その6試行を1つの練習ブロックとした。また、各試行中の第2行程（前方への水平移動）における右足先の目標値からの変位を学習の指標とした。

対象者に与えられるFBの内容は、各試行中の第2行程に関する情報を与えるため、測定開始位置における右足先の高さに関する情報（以下、第1FB）と測定終了位置における右足先の高さに関する情報（以下、第2FB）とした。検査者は対象者を右側より観察し、FBを与えるため、実験環境から1 m右側方に配置された椅子に座った（図1）。対象者の右側にアクリル板を用いて作成した観察用の板を配置し、その板に対象者の棘果長の55%の高さに対し ± 2.5 cmのバンド幅が分かるように目印を設けた。検査者は、対象者の足先の高さがバンド幅よりも“高い”か“低い”か、あるいは“バンド幅内”かを口頭で伝えた。CF群では、ブロック内の第2～5試行のいずれか1試行を無作為に選び、その試行にのみFBを付与した。右足先が測定範囲に侵入すると同時に第1FBを与え、測定終了位置に到達すると同時に第2FBを与えた。またTF群では、第6試行にのみFBを付与することとし、各ブロック終了直後に第1・第2FBを与えた。なお、本研究ではすべての対象者に対して一人の検査者がFBを与えた。

測定に先立ち、対象者をCF群とTF群の2群に分け、

同一の課題を練習させた。群分けは、各群で男女比が一定となるように配慮する以外は無作為に行った。また、課題動作の目標の高さを決定するために、測定開始前に右下肢の棘果長を計測した。次に、両群の対象者に課題動作遂行時に使用する信号音を流し、対象者に動作のタイミングを確認させた。また、振り出し距離を確認させるために、目標の高さは示さずに課題動作を6試行実施させた。さらに、各群の対象者にそれぞれどのようなFBを与えるかを説明した。

本研究では、各対象者に対する測定は2日続けて行われた。まず、1日目に1ブロックで構成されるプレテストと12ブロックで構成される練習試行を実施した。2日目は、1日目の測定の約24時間後に1ブロックで構成されるポストテストを実施した。なお、プレテストおよびポストテストでは両群ともにFBは与えなかった。

本研究では、赤外線カメラ8台による三次元動作解析装置 Vicon nexus (VICON PEAK 社製) を用いて測定を行った。反射マーカーを対象者の右母趾上部、アクリル板上の目標の高さ・測定開始位置・測定終了位置の4点に貼付した。なお、測定は取り込み時間 10 ms にて行った。測定したデータのうち測定開始位置から測定終了位置の範囲における取り込み時間毎の目標値からの変位(絶対誤差)の平均値(Root Mean Square Error, 以下, RMSE)を誤差の指標とした。本研究では、音声を使用することで動作時間を規定しているが、全試行で完全に一致させることはできないため、足先の反射マーカーが測定開始位置に到達してから、測定終了位置に到達するまでの時間で測定範囲内における足先の軌跡と目標の高さのZ軸方向の誤差面積を除いてRMSEを算出した。また終了後に、検査者の与えたFBの内容が適切であったかどうかを判定するために、測定中の音声を記録した。

統計学的処理を行うにあたって、本研究ではブロック1~6をセッション前半、ブロック7~12をセッション後半と定義した。両群のRMSEについて、要因をテスト・練習試行のシーケンス、およびFBタイミングとする二元配置分散分析を行った。下位検定として、テスト・練習試行のシーケンスに対してはTukey法を用いた。また、CF群において各ブロックのFBの対象試行とその一つ前の試行を比較するために、試行とセッションを要因とする二元配置分散分析を行った。さらに、TF群において各ブロックの第1試行と第6試行を比較するために、試行とセッションを要因とする二元配置分散分析を行い、下位検定にはTukey法を用いた。なお、統計処理にはIBM SPSS Statics 20を使用し、すべての分析において危険率5%未満を統計学的有意とした。

III. 結果

まず、本研究で検査者が口頭で伝えたFBの正確性は、CF群で $63 \pm 18\%$ 、TF群で $69 \pm 16\%$ であった。不正確なFBを伝えてしまった場合でも、“高い”と“バンド内”の取り違い、または“低い”と“バンド内”の取り違いの範囲に留まり、実際のパフォーマンスがバンド幅より高い場合に“低い”と伝えるような、内容の逆転するFBを与えることはなかった。

両群のRMSEの変化に関して二元配置分散分析の結果、シーケンス要因の有意な主効果が認められた($d/f=3/66$, $F=21.918$, $p<0.01$)。しかし、交互作用は有意ではなかった(表1)。下位検定の結果、両群ともにプレテストがセッション前半、セッション後半、ポストテストと比較して有意に大きな値を示した($p<0.01$)。次に、CF群における各ブロックのFB後の試行とFB前の試行の比較では、試行要因に有意な主効果が認められ、FB後の試行がFB前の試行と比較して有意に小さい値を示した($d/f=1/11$, $F=10.702$, $p<0.01$)。しかし、シーケンス要因には有意な主効果は認められず、有意な交互作用も認められなかった(表2)。最後にTF群において、各ブロックの第1試行(1つ前のブロックの最終試行に対するFB後の試行)と第6試行(FB前の試行)の比較では、有意な主効果および交互作用は認められなかった(表3)。

IV. 考察

本研究では、言語的なFBを用いてFB付与のタイミングの違いが運動学習に与える影響を明らかにすること

図1 実験環境

a, VICON NEXUS, b, 注視点, c, マイク, d, スピーカー, e, 観察用の板, f, 下肢の運動の観察を防ぐための板。

表 1 RMSE の継時的変化

	プレテスト	セッション前半 **	セッション後半 **	ポストテスト **
CF 群	81.3 ± 45.3	39.9 ± 24.3	29.9 ± 18.0	32.6 ± 22.7
TF 群	84.3 ± 42.2	34.6 ± 17.4	26.8 ± 17.6	45.6 ± 35.7

平均値 ± 標準偏差. 単位 (mm), **p<0.01.

表 2 CF 群における各ブロックの FB 付与前の試行と FB 対象試行の比較

	セッション前半	セッション後半
FB 前試行	42.9 ± 33.4	35.0 ± 26.6
FB 対象試行	32.1 ± 25.9	22.3 ± 18.7

平均値 ± 標準偏差. 単位 (mm), **p<0.01.

表 3 TF 群における各ブロックの第 1 試行と第 6 試行の比較

	セッション前半	セッション後半
第 1 試行	28.5 ± 13.9	26.0 ± 15.6
第 6 試行	24.6 ± 24.4	20.9 ± 18.4

平均値 ± 標準偏差. 単位 (mm).

を目的とした。まず、FB に対する練習中のパフォーマンスに関して、CF 群では FB を与えた試行が FB を付与する前の試行と比較して有意に小さな誤差を示した。このことから CF 群では、第 1FB が与えられると即座に遂行中の動作のパフォーマンスを変化させ、誤差を修正していたと考えられる。一方、TF 群における第 1 試行と第 6 試行の比較では、セッション要因、試行要因共に有意差は認められなかった。このことから TF 群では、FB を与えられる前の第 6 試行に対して与えられた FB を利用して、次のブロックの第 1 試行 (FB を与えられた直後の試行) のパフォーマンスを向上させていると考えられる。これらの結果から、CF 群は FB 中、TF 群はブロック間に異なる方法で練習中のパフォーマンスを変化させていたと考えられる。まず CF では、FB を与えられるとその情報を即座にパフォーマンスに反映させている。この点は先行研究にみられる CF と同様の傾向があり、聴覚性の CF がガイダンス効果を有しているという先行研究の結果を支持するものとなった。運動学習への効果に関しては、練習試行の進行に伴い RMSE が減少し、保持テストにおいても練習の効果が保たれていることが示されたが、群間に有意差は認められなかった。このことから、CF と TF は同等の運動学習への効果を有すると考えられる。

本研究で示された各様式の FB が練習中のパフォーマンスに与える効果は先行研究と一致する。しかし、音刺激を用いて行われた研究⁷⁾では、聴覚性の CF は運動学習には効果的に働かないと報告されており、本研究の結果とは異なる。本研究と先行研究の結果が相違する原因として、FB 頻度が関係している可能性がある。FB 頻度に関する多くの研究では、FB 頻度が過大な場合にも過小な場合にも運動学習が阻害されると報告されている⁹⁻¹²⁾。また、Pringle⁸⁾の言語的な最終 FB に関する研究では、12 試行中の 4 試行の FB を与えた群が保持テストで最も高いパフォーマンスを示し、言語的な FB に

おいても頻度を減少させることでパフォーマンスが保持されることを示している。本研究では 1 ブロック内の 1 試行にのみ FB を与えており、運動学習により効果的な FB 頻度が選択されていたと考えられる。これらのことから、言語的な同時 FB においても FB 頻度を減少させることでパフォーマンスの保持を促す可能性があることが示唆された。

本研究の結果から、言語的な CF は遂行中の動作に対するガイダンス効果を有しているが、FB の相対的な頻度が低ければ、TF の効果を上回るほどのものではないものの、練習中のパフォーマンスを損なうことなく、運動学習を生起させることができると示唆された。このことから、歩行動作などの連続スキルの練習などの、各試行中に動作を停止し FB を付与することが困難と考えられる場面では、FB 頻度を調節し言語的 CF を与えることで、運動学習を効率よく生起させることができると推察される。本研究結果は臨床場面での CF のエビデンス確立において意義深いものと考えられる。しかし、本研究の限界として、不正確な FB が与えられる場面があったことが挙げられる。本研究では、検査者が視覚的に質的評価を与えるという方法であったため、三次元動作解析機が検出する mm 単位での測定値を正確にフィードバックするには限界があったと考えられる。今後は、他の機器の使用により測定値を動作遂行中に検出し、その測定値を学習者に対して伝えるなど、より正確に FB を与える方法について検討する必要がある。また、本研究では一定の FB 頻度を用いていたため、異なる FB 頻度を用いた際にどのような傾向を示すかについては知ることができない。より多様な FB 頻度を用いることで、動作遂行中のパフォーマンスおよび運動学習を生起させるのに適した FB 条件を設定するための知見を得ることが可能であると考えられる。今後は、言語的 CF に対する FB 頻度の影響を検討するための研究や、臨床場面での有用性を検討するための研究を行っていく必要がある。

と考えられる。

引用文献

- 1) 谷 浩明：セラピストによる教示やフィードバックは学習に効果的か？ 理学療法科学, 2006, 21(1): 69-73.
- 2) Mary MS: Attention to visual feedback in motor learning. J Mot Behav, 1978, 10(3): 185-190.
- 3) Annett J: Learning a pressure under conditions of immediate and delayed knowledge of results. Q J Exp Psychol, 1959, 11: 3-15.
- 4) Vander Linden DW, Cauraugh J: The effect of frequency of kinetic feedback on learning an isometric force production task in nondisabled subjects. Phys Ther, 1993, 73: 79-87.
- 5) Schmidt RA, Wulf G: Continuous concurrent feedback degrades skill learning: implications for training and simulation. Hum Factors, 1997, 39(4): 509-525.
- 6) Kohl RM, Shea CH: Augmenting motor responses with auditory information: guidance hypothesis implications. Human Perform, 1995, 8(4): 327-343.
- 7) Salmoni AW, Schmidt RA, Walter CB: Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. Psychol Bull, 1984, 95(3): 355-386.
- 8) Pringle RK: Guidance hypothesis with verbal feedback in learning a palpation skill. J Manipulative Physiol Ther, 2004, 27(1): 36-42.
- 9) Nicholson DE, Schmidt RA: Scheduling information feedback to enhance training effectiveness. Proceeding of the Human Factors Society 35th Annual Meeting, 1991; 1400-1402.
- 10) Winstein CJ, Schmidt RA: Reduced relative frequency of knowledge of results enhances motor learning. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 1990, 16: 677-691.
- 11) Kohl RM, Guadagnoli MA: The scheduling of knowledge of results. J Mot Behav, 1996, 28(3): 283-240.
- 12) Winstein CJ, Pohl PS: Learning a partial- weight- bearing skill: effectiveness of two forms of feedback. Phys Ther, 1996, 76: 985-993.