

運動学習におけるフィードバックの 種類と頻度に関する効果の差

井上 敬司・大場 拓人・中出 美咲
中本紫於里・向井 薫乃・森本 和仁

目 次

【要旨】	23
I. はじめに	24
II. 対象と方法	24
III. 結果	26
IV. 考察	27

【要旨】

〔目的〕

理学療法の現場では対象者が動作を学習する場合、内在的フィードバックに加え、外在的フィードバックが重要となる。本研究の目的は視覚的フィードバックと聴覚的フィードバックのどちらが即時的な効果があるか、またフィードバックを与える頻度が効果に影響するかを比較・検討することである。

〔対象と方法〕

健常若年者 50 名をフィードバックの種類と頻度を組み合わせた 4 群とコントロール群の計 5 群にランダムに分けた。プレテスト、介入、ポストテストの 3 相に分け、フリースローを各 10 本ずつ実施した。各テスト中 1 本のフリースローが成功した場合を 1 点とし、ポストテストの得点からプレテストの得点を引いたものを効果得点と定義し、効果得点を介入前後と 5 群間で比較した。

〔結果〕

各群の効果得点、および 5 群間の効果得点に有意差が認められなかった。

〔考察〕

先行文献のように効果得点に有意な差を認めなかった要因として対象者の元々の体力と疲労が影響した可能性が高い。本研究を通して運動学習では課題の種類や対象者の状態に応じてフィードバックの種類と頻度を考えること、また運動課題の適切な難易度を選択すること、個々の対象者と改善を望む課題に応じたフィードバックを考えながら理学療法を実践することの重要性を学んだ。

キーワード：運動学習、視覚的フィードバック、聴覚的フィードバック

I. はじめに

理学療法の現場では対象者が動作を学習する場合、対象者個人の固有感覚などを利用する内在的フィードバックに加え、セラピストによる口頭指示などの外在的フィードバックが重要となる¹⁾。理学療法士による適切な外在的フィードバックは最適な動作学習の効果をもたらすと考える。私たちは臨床実習にて理学療法士が口頭による聴覚的フィードバックや、鏡などを用いた視覚的フィードバックを積極的に取り入れて対象者に生体動作学習を指導する場面を多く体験した。その際にどちらのフィードバックが動作の学習に効果的であるのか疑問に思った。臨床実習の終了後、文献を調べてみると、先行研究では運動学習には聴覚的フィードバックの方が効果が高い²⁾との報告と、視覚的フィードバックは学習効果が大きい³⁾との報告があった。このように運動学習の効果について聴覚的フィードバックと視覚的フィードバックのどちらの方が運動学習への効果が高いかは未だ明らかにされていない。本研究の目的は視覚的フィードバックと聴覚的フィードバックのどちらが即時的な効果があるか、またフィードバックを与える頻度が効果に影響するかを比較・検討することである。

II. 対象と方法

整形外科的及び神経学的疾患の既往を持たない健常若年者 50 名（男女各 25 名）を対象とした（年齢： 20.5 ± 0.9 歳、範囲：18～22 歳、身長： 162.3 ± 23.9 cm、体重： 64.1 ± 20.8 kg、BMI： 21.5 ± 2.4 、平均値 $\pm$ 標準偏差）。課題はバスケットのフリースロー（図 1）とし、対象者をフィードバックの種類と頻度を組み合わせた 4 群とコントロール群の計 5 群（男女各 5 人ずつ各群 10 名）にランダムに分けた。

1、視覚 100% 群

介入時、フリースロー 1 本毎に視覚的フィードバックを与えた対象者

2、視覚 33% 群

介入時、フリースロー 3 本毎に視覚的フィードバックを与えた対象者



図 1. 課題（フリースロー）

3、聴覚 100%群

介入時、フリースロー 1 本毎に聴覚的フィードバックを与えた対象者

4、聴覚 33%群

介入時、フリースロー 3 本毎に聴覚的フィードバックを与えた対象者

5、コントロール群

介入時、フィードバックを与えなかった対象者

全対象者はプレテストの前にウォーミングアップとしてストレッチング（肩関節周囲筋群、手関節掌背屈筋群、アキレス腱の静的ストレッチングを 10 秒間×1 セット）を行った。

次にプレテスト、介入、ポストテストの 3 相に分け、課題であるフリースローを各 10 本ずつ実施した（図 2）。プレテストとして 10 本のフリースローを行わせた。その後、1 分間の休憩を入れ、介入としてフィードバックを与えながら 10 本のフリースローを行わせた。さらに 1 分間の休憩後、介入効果を判定するためにポストテストとして 10 本のフリースローを行わせた。

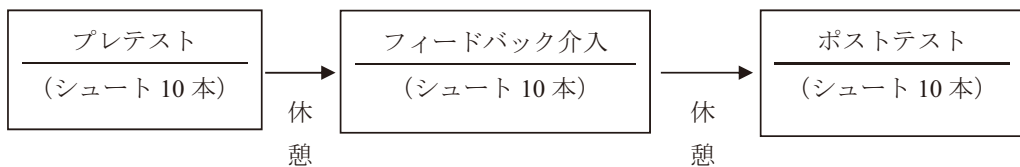


図2. 研究プロトコル

対象者は 6 号ボール（周囲：72.4～73.7cm、直径：23.2cm、重量：510～567g）を用いて、フリースローライン（バスケットゴールのボード手前から 4.2m）の場所からフリースローを行った。対象者はボールを受け取ってから 15 秒以内にフリースローを行うものとした。シュートは片手もしくは両手で行うかは対象者の自由とした。フリースローの際、足先がフリースローラインを超える、あるいは触れた場合は不成功と見なし、やりなおした。1 分間の休憩時はボールに触れないように配慮した。

視覚的フィードバックはバスケットボール経験者 2 人（競技経験年数 6 年と 9 年）の前方・側方・後方の 3 種類の側面からフリースローを行う動画を見せた。片手あるいは両手でフリースローをする 2 種類の動画を準備し、それぞれの対象者の方法に合わせてフィードバックをした。

聴覚的フィードバックを与える被検者はバスケットボール経験者 1 名（競技経験年数 9 年）とした。被検者は対象者のフリースローの様子を観察し、それぞれの対象者に適切と思われる内容の聴覚的フィードバックを与えた。その内容は

きく3項目に分類され、「もう少し膝を曲げて」、「もう少し手首のスナップをきかせて」といったフォームに関すること、「リングの手前（または奥）をねらって」「右（または左）方向に投げて」といった物的環境に関すること、「放物線を描くように投げて」といったボールの軌道に関することとした。

プレテスト、介入、ポストテストにはフィードバックを与える被検者、タイムキーパーと記録者の各1名を配置した。各テスト、他者のフリースロー動作を見ると視覚的情報が与えられ本研究の結果に影響を及ぼすと考え、本人以外のフリースロー動作を見ないように配慮した。

データは各テスト中1本のフリースローが成功した場合を1点とし、ポストテストの得点からプレテストの得点を引いたものを効果得点と定義した。一元配置分散分析を用いて、5群間の基本的特性およびプレテストの得点および効果得点の結果を比較した。また対応のあるt検定を用いて、各群のプレテストとポストテストの得点（介入の効果）を比較した。統計解析にはPASW Statistics 21を用い、有意水準は5%未満とした。

本研究は神戸国際大学リハビリテーション学部理学療学科倫理委員会了承のもと、対象者に本研究の目的及び研究方法を口頭並びに文面にて説明し、本人の意思により本研究に参加する旨の同意書を得て行った。（承認番号：第G2017-054号）。

Ⅲ. 結果

5群間の基本的特性（表1）とプレテストの得点（表2）に有意差が認められなかった。各群の介入前後のプレテストとポストテストの得点、および5群間の効果得点に有意差が認められなかった（表2、図3）。

表1. 対象者の基本的特性の比較

	視覚 100%群	視覚 33%群	聴覚 100%群	聴覚 33%群	コントロール群
年齢（歳）	20.1±1.0	20.1±1.0	20.5±1.2	20.9±0.4	21.0±0.5
身長（m）	166.4±9.3	164.6±10.6	166.9±7.9	166.9±7.7	167.0±8.0
体重（Kg）	61.0±10.8	58.6±7.5	59.6±11.2	61.0±9.0	59.8±9.1
BMI（kg/m ² ）	22.0±3.0	21.6±1.6	21.0±2.0	21.9±2.3	21.5±3.3

BMI（Body Mass Index）

表2. 各群のプレテストとポストテストの得点と効果得点（点）

	プレテスト	ポストテスト	効果得点
視覚 100%群	2.1 ± 1.6	3.1 ± 1.4	1.0 ± 2.1
視覚 33%群	1.3 ± 1.2	1.9 ± 1.4	0.6 ± 1.3
聴覚 100%群	1.9 ± 1.6	2.3 ± 1.6	0.6 ± 1.3
聴覚 33%群	1.5 ± 1.4	2.6 ± 1.6	0.4 ± 1.9
コントロール群	2.1 ± 1.5	2.1 ± 2.2	0 ± 2.0

効果得点：ポストテストの得点－プレテストの得点

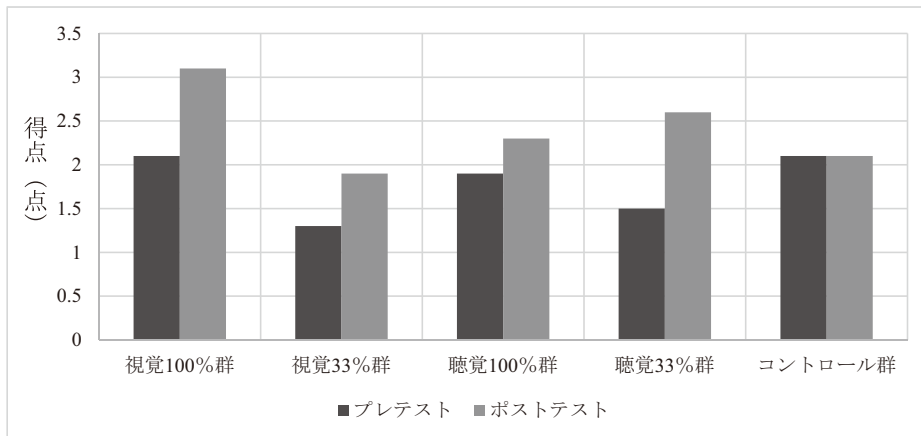


図3. プレテストとポストテストの得点の比較

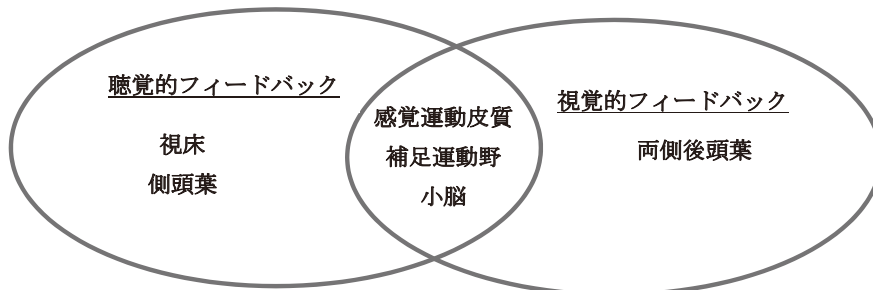


図4. 各フィードバックの種類と脳の活動領域

IV. 考察

本研究では運動学習の即時効果と視覚的フィードバックと聴覚的フィードバックのどちらが効果的か、またフィードバックを与える頻度による効果の差はあるかを比較・検討した。視覚的フィードバック群と聴覚的フィードバック群およびフィードバックの頻度（フィードバック 100%群と 33%群）の間に有意な差が認

められなかった。しかし、コントロール群ではプレテストとポストテストでは得点は変わらなかったが、すべての介入群ではプレテストよりポストテストの得点が増加していたが有意な差が認められなかった。

長谷川ら⁴⁾は立位で随意的に荷重を移動させる動的バランスの課題を用いて、視覚と聴覚によるフィードバックの即時的効果を比較し、視覚的フィードバックを与えられた群と聴覚的フィードバックを与えられた群の両群にパフォーマンスの向上が認められたが2群間の効果に有意な差は認められなかった。また3日後のフォロー調査で視覚的フィードバックを与えられた群では運動効果の保持を認めなかったが、聴覚的フィードバックを与えられた群では長期効果が保持されていたと報告している。

Ronsse⁵⁾は両手の協調運動活動を用いて、視覚的フィードバックと聴覚的フィードバックの効果と、それを処理する脳活動領域の差について調査した。その結果、長谷川ら⁴⁾と同様に視覚的フィードバックに比べて聴覚的フィードバックの長期効果が有意に高く、両群で感覚運動皮質、補足運動野、小脳が活動していた。しかし視覚的フィードバック群では両側後頭葉が、聴覚的フィードバック群では視床、側頭葉、弁蓋皮質がそれらの情報を処理するためにそれぞれ特異的に活動していた(図4)。このように、視覚情報を処理する場合、後頭葉の活動が大きく、一方で聴覚情報を処理する場合、側頭葉および補足運動野や小脳の活動が大きかった。側頭葉には海馬が存在し、海馬は言語的記憶(陳述記憶)に関与し、補足運動野は随意運動の制御及び企画の役割を担っていることが知られている。このことから聴覚的フィードバックの長期効果が高かった要因として、聴覚情報は随意運動の制御と記憶に関与する側頭葉で処理されるために、長期効果が高くなると推測できる。また、東口ら³⁾はRomberg肢位で随意的に荷重を移動させるバランスの課題を用いて、運動学習効果を検討した。その結果、視覚的フィードバックは聴覚的フィードバックよりも即時的な学習効果が高かった。これは、聴覚情報と比較して、視覚情報は空間認知能力(物体が三次元空間に占めている状態や関係を素早く正確に把握、認識する能力)が強く関与するために、ターゲットに合わせて、荷重を移動させるような課題において、位置の誤差修正を行いやすいことが影響したと考察している。

課題の難易度において、課題レベルが簡単すぎる場合は、学習者の情報処理能力に対して、学習に利用可能な情報が少なく、学習効果が小さくなってしまい、学習効率は低下する。その反面、課題レベルが難しすぎる場合は学習者の情報処理能力に対して、利用可能な情報量が過多となり、学習者の情報処理機構が破綻する。結果、学習効率は低下する。運動学習において Challenge Point

Framework では、学習者の情報処理能力に見合った情報量が与えられた場合 (Optimal Challenge Point) に、最も効率的に情報が処理され、学習利得が最適化されるとしている⁶⁾。

フィードバックの頻度において、Salmoni⁷⁾ が提唱したガイダンス仮説では、外在的フィードバックは過剰に与えない方が好ましいとされている。フィードバックで得た結果の知識 (Knowledge of Result : 以下 KR) は学習者にとって必要であるが、過剰な KR を与えるとフィードバックに対する依存が生じ、学習者自身で内在的フィードバックを行わなくなる傾向がみられるとされている。

これらから運動学習において聴覚的フィードバックは長期効果、視覚的フィードバックは即時効果が高くなると考えられる。このように先行文献から運動学習の効果はフィードバックの種類だけでなく課題の種類とその難易度に影響されること、即時的効果と長期的効果の両方に着目すること、また学習者自身の内在的フィードバックによる運動効果を妨げないようなフィードバックを与える頻度に配慮することが重要となることがわかった。しかし、本研究では全ての介入前後でプレテストよりもポストテストの得点は高くなったが、有意差を認めなかった。加えてフィードバックの種類や頻度による学習効果の差も認められなかった。前述した先行文献⁴⁻⁶⁾ は随意的に荷重を移動する、あるいは上肢の協調性運動のような体力レベルに影響しない課題であった。しかし本研究の課題のフリースローは筋力などの体力に影響される課題であったことが本研究と先行文献の結果が一致しなかった大きな要因と考える。

山崎ら⁸⁾ は運動学習の効果に影響する要因として、知識がない、方法がわからないといった先行刺激の問題、筋力や可動域制限があるといった元々能力がないといった技術の問題、フリースローを打つ中で全く入らないというような状況が続くと練習行動は弱化され、この運動自体が嫌悪刺激となりフィードバックに対しての効果が現れにくくなるといった後続刺激の問題などを挙げている。本研究のテスト、介入において 30 本のフリースローを打つ中で、ゴールまでボールが一度も届かなかった対象者がいた。これは筋力などの元々の技術や体力面に問題があり、運動学習効果が得られなかったと考えられる。

また木山ら⁹⁾ は筋が疲労すると筋出力の低下だけでなく筋出力の制御が困難となりパフォーマンス低下の一因になると報告している。これは生理学的に筋疲労に伴う筋出力の低下は参加する運動単位の増加と前角細胞の発火頻度が増加を招き、筋出力の制御が困難になると考えられている。本研究においてはテストと介入の間には疲労を考慮して休憩時間を設けたが、ポストテスト中に疲労感が観察された対象者もいた。これは本研究では先行研究のような結果が得られなかつ

た要因に疲労に対する配慮が不十分であったと考える。このように本研究では先行報告のようなフィードバックによる介入の効果に有意差が認められなかったのは、対象者の元々の運動能力の違いが影響した可能性が高い。対象者の選択と分類には事前にスクリーニングテストを実施する、あるいは一定の運動経験レベル以上を対象者の条件とするなどの配慮が必要であったと考える。

これらの結果は臨床現場での運動学習に以下のように応用できると考える。まず、意欲が低下している高齢者などを対象とした運動療法では即時効果の高い聴覚的フィードバックをうまく活用し、成功体験を積むことが運動学習における行動変容を容易にすると考える。その後、意欲の向上が認められるあるいは運動習慣が身についてきた時期には視覚的フィードバックも取り入れた理学療法を実施することで学習効果の長期維持ができると考える。このように運動学習では課題の種類や対象者の状態に応じてフィードバックの種類と頻度を考えること、また運動課題の適切な難易度を選択すること、個々の対象者と改善を望む課題に応じたフィードバックを考えながら理学療法を実践することの重要性を学んだ。

本研究の限界として以下の4点が考えられる。1) 対象者数が不十分であること、2) 即時効果のみを評価したこと、3) 健常者を対象にフリースローは理学療法士が臨床の現場で経験する生活活動指導や、歩行練習などの課題と共通点が少ないこと、4) 対象者が集中できる環境への配慮が不十分であったことが挙げられる。今後は脳の器質的障害のある対象者の運動学習において最適なフィードバックの種類と頻度について、検討していきたい。

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?. 理学療法学 21(1): 69-73, 2006.
- 2) 米田浩久, 鈴木俊明. 非利き手によるボーリング投球動作を用いた言語的 KR の運動学習効果について. 関西医療大学紀要 8: 74-78, 2008.
- 3) 東口大樹, 大矢敏久, 高橋修平, 他. 聴覚および視覚フィードバックが運動学習の習熟過程・保持に及ぼす特性の違い. 第47回日本理学療法学会大会抄録集 39: suppl. No.2 2011.
- 4) 長谷川直哉, 萬井太規, 武田賢太, 他. 視覚フィードバックと聴覚フィードバックによる動的バランスの学習効果の違い. 理学療法学 42(6): 474-479, 2015.
- 5) Ronsse R, Puttemans V, Coxon JP, et al. Motor Learning with Augmented Feedback: Modality Dependent Behavioral and Neural Consequences. Cerebral Cortex. 21: 1283-1294, 2010.
- 6) 秋月千典. 運動学習にとって最適な課題難易度に関する研究. 茨城県立医療大学大学院博士論文 14-17, 2015.
- 7) Salmoni AW, Schmidt RA, Walter CB. Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal Psychol Bull; 95(3): 355-386, 1984.
- 8) 山崎裕司. リハビリテーション効果を最大限に引き出すコツ. 応用行動分析で運動療法と ADL 訓練は変わる, 東京, 三輪書店, pp50-61, 2008.
- 9) 木山良二, 前田哲男. 筋疲労による固有受容感覚の低下が筋出力の制御に与える影響. 第47回日本理学療法学会大会抄録集 39: suppl. No.2 2011.